



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Inspeção e Conservação de Torres de Telecomunicações

ANA PATRÍCIA LEITE CALADO
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na área de especialização de Estruturas

Orientadora:

Cristina Xavier de Brito Machado, Mestre, ISEL

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luciano Jacinto, ISEL

Vogais:

José António Fontelas dos Santos Viseu, Especialista, ISEL

Cristina Xavier de Brito Machado, Mestre, ISEL

Outubro de 2017

Dedicatória

Ao meu Avô João

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Eng.^a Cristina Machado por toda a disponibilidade, colaboração e paciência que demonstrou ao longo desta fase.

Aos meus pais, ao meu irmão, aos meus avós, aos meus tios e aos meus primos, pela família que somos nos bons e nos maus momentos, e porque sem vocês não me tornaria aquilo que sou hoje.

Ao Hugo, o meu namorado e companheiro, a pessoa que da maneira mais próxima partilhou comigo todo o meu percurso no ISEL, que me apoiou e motivou, e que espero que juntos possamos enfrentar mais desafios como este.

O presente trabalho também não seria possível sem o apoio e motivação de diversas pessoas, sobretudo dos meus amigos, que de alguma forma me incentivaram a terminar este trabalho e o meu curso, e aos quais agradeço de forma sincera. Tenho a sorte de poder contar com muitas pessoas pelo que não conseguirei referi-las uma a uma, embora queira deixar aqui um agradecimento especial a algumas delas.

À Sofia Rocha, por todos os dias, por todas as noites, porque esteve sempre presente e sem ela teria sido tudo mais difícil, o meu Muito Obrigado. Tu és uma das melhores coisas que o ISEL me proporcionou.

À minha amiga e afilhada de curso, Cátia Larose, pela partilha, pelas noites em trabalho e porque juntas nos motivámos e conseguimos, e espero que assim seja em tudo no futuro.

Às minhas amigas de longa data, Sofia Madaleno e Sofia Martins, pelas gargalhadas, pelas confidências e por todos os bons momentos que muitas vezes surgiram como um recarregar de energias.

À Rute Machado, porque fazes parte de tudo o que me recordo deste percurso, por todos os momentos que passámos juntas, por toda a partilha e pela nossa amizade.

Ao Eng.º Pedro Casaleiro, meu amigo e colega de profissão, por toda a experiência partilhada desde o meu primeiro dia na empresa, e à sua mulher Inês, por me terem dado

a motivação extra que precisava e muitas vezes me chamarem à razão relativamente à importância de terminar este trabalho.

Ao também colega de profissão, mas sobretudo amigo, Bruno Silva, pela sua paciência, apoio e por tanto que me ensinou e continua a ensinar.

A todos os colegas do ISEL, pelo companheirismo, espírito de união e pela amizade que com alguns desenvolvi. Ao Bruno Caeiro, por toda ajuda, apoio, pelas explicações e pelas horas bem passadas. Ao Pedro Fernandes pela companhia nas noitadas e nos trabalhos ao longo deste mestrado. À Joana Correia, porque nos conhecemos desde o primeiro dia que chegámos à instituição que nos formou, e nos acompanhamos desde então.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de profissão, em especial ao Paulo Grencho, ao Francisco Silvestre, à Conceição Cotão e ao Rui Coelho Pereira, pois mais que partilhar um *open space*, partilhamos o nosso dia-a-dia e a vocês devo muito do que sei hoje, sobretudo relativamente ao assunto que me propus escrever neste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como foco principal um conjunto específico de estruturas, torres metálicas e de betão, que servem de suporte a equipamentos de telecomunicações. Este trabalho propõe-se a estudar as diversas tipologias de estruturas existentes a nível nacional, e analisar um conjunto de questões observáveis durante o período de vida útil das designadas torres.

Nesta monografia são abordados os diferentes aspetos a considerar na manutenção preventiva do parque de infraestruturas. Da amostra de estruturas que foi alvo de estudo neste trabalho, foi importante distinguir a grande variedade de soluções. Porém a abordagem às inspeções e conservação das torres de telecomunicações foi feita com base na distinção do seu principal material constituinte, a saber, aço e betão.

São analisadas as inspeções às estruturas, referindo-se sempre que possível as normas nacionais e/ou europeias que presidem a cada ensaio mencionado. Como consequência das inspeções efetuadas às torres, são posteriormente registadas e analisadas as patologias mais comuns e críticas à durabilidade e integridade das torres metálicas e de betão, servindo depois de base à definição e planeamento das ações de conservação destas estruturas. Nesta secção são referidos os materiais e técnicas construtivas indicadas na conservação deste tipo de estruturas, com vista à minimização de impacto no cliente, dando especial ênfase ao tratamento anticorrosivo dos elementos metálicos.

Por último, são apresentados dois casos de estudos, uma torre metálica e outra de betão armado, onde para cada caso se tentou aplicar os procedimentos aportados nos capítulos anteriores, analisando as anomalias observadas e explicando as medidas corretivas tomadas.

Palavras-chave: Torres metálicas, Torres de betão armado, Telecomunicações, Inspeção, Conservação, Corrosão.

ABSTRACT

The present work focus on a specific set of structures, steel and concrete towers that support telecommunications equipment. It is its main goal to study the different types of structures that exist at a national level, and to analyze a set of questions observed during the expected life of the designated towers.

This monograph approaches the different aspects to be considered in the preventive maintenance of the infrastructures park, and from the considered case studies, it was important to distinguish a great variety of the possible solutions to implement.

However, the approach to the tower inspection and maintenance is, whenever possible, based on the distinction of its main basic material, whether they're made of steel or concrete. Moreover, all the tower assessments and tests are always referred to national and / or European standards that govern each test.

All the results and information gathered from the inspections are analyzed; the most common pathologies and critical issues to the durability and integrity of the steel and concrete towers are recorded, serving as a kick off point to the defining and planning of all the conservation actions needed.

Furthermore, the materials and construction techniques indicated in the maintenance of these types of structures are presented, with special emphasis on the anticorrosive treatment of metallic elements, always targeting at minimize the impact on the customer.

Finally, two case studies are presented, one steel tower and one reinforced concrete tower. In each case, the anomalies were registered and analyzed according to the previously studied actions, and the previously mentioned maintenance procedures and techniques were applied.

Keywords: Towers, Steel towers, Reinforced concrete towers, Telecommunications, Inspection, Conservation, Corrosion.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2. TORRES DE TELECOMUNICAÇÕES	5
2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DE TORRES DE TELECOMUNICAÇÕES	5
2.1.1. <i>Torres tubulares autossuportadas</i>	5
2.1.2. <i>Torres treliçadas autossuportadas</i>	10
2.1.3. <i>Torres espiadas</i>	13
2.1.4. <i>Torres de Betão</i>	15
2.1.5. <i>Outros tipos de torres</i>	17
2.2. ACESSÓRIOS E EQUIPAMENTOS.....	20
2.2.1. <i>Escadas</i>	20
2.2.2. <i>Plataforma de trabalhos</i>	21
2.2.3. <i>Interfaces metálicos</i>	23
2.2.4. <i>Antenas de telecomunicações</i>	26
2.2.5. <i>Outros acessórios</i>	27
3. INSPEÇÃO DE TORRES DE TELECOMUNICAÇÕES	29
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	29
3.2. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO - TORRES METÁLICAS.....	30
3.2.1. <i>Conformidade dos elementos metálicos estruturais</i>	30
3.2.2. <i>Conformidade das ligações</i>	35
3.2.3. <i>Conformidade de revestimentos de proteção anticorrosiva</i>	40
3.3. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO - TORRES DE BETÃO	43
3.3.1. <i>Conformidade dos elementos estruturais de betão</i>	44
3.3.2. <i>Conformidade dos revestimentos superficiais</i>	48
3.4. PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO – ASPETOS GERAIS.....	49
3.4.1. <i>Conformidade dos elementos não estruturais</i>	49
3.4.2. <i>Maciços de betão e chumbadouros</i>	51
3.4.3. <i>Ensaio geotécnicos</i>	53
3.5. RESUMO DE PATOLOGIAS	54
4. CONSERVAÇÃO DE TORRES DE TELECOMUNICAÇÕES.....	57
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	57
4.2. PROCEDIMENTOS DE CONSERVAÇÃO – TORRES METÁLICAS	58
4.2.1. <i>Elementos metálicos estruturais</i>	58
4.2.2. <i>Ligações</i>	61

4.2.3.	<i>Revestimento de proteção anticorrosiva</i>	63
4.3.	PROCEDIMENTOS DE CONSERVAÇÃO – TORRES DE BETÃO	70
4.3.1.	<i>Conservação de elementos de betão armado</i>	71
4.3.2.	<i>Revestimento superficial</i>	72
4.4.	PROCEDIMENTOS DE CONSERVAÇÃO – ASPETOS GERAIS	73
4.4.1.	<i>Conformidade dos elementos não estruturais</i>	73
4.4.2.	<i>Maciços de betão e chumbadouros</i>	76
5.	CASOS DE ESTUDO	79
5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	79
5.2.	TORRE METÁLICA - CANAS DE SENHORIM.....	79
5.2.1.	<i>Identificação das patologias</i>	81
5.2.2.	<i>Causas e Medidas corretivas</i>	86
5.3.	TORRE EM BETÃO ARMADO – MONTADOR.....	92
5.3.1.	<i>Identificação das patologias</i>	93
5.3.2.	<i>Medidas corretivas</i>	95
6.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	99
6.1.	CONCLUSÕES	99
6.2.	PERSPETIVAS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – TORRE METÁLICA DE SECÇÃO TUBULAR	6
FIGURA 2.2 – TORRE METÁLICA SECÇÃO HEXADECAGONAL	6
FIGURA 2.3 – UNIÃO ENTRE TROÇOS POR ENCAIXE	7
FIGURA 2.4 – UNIÃO ENTRE TROÇOS POR FLANGE APARAFUSADA.....	7
FIGURA 2.5 – ESQUEMA DE UMA FUNDAÇÃO TIPO PLINTO.....	8
FIGURA 2.6 – ARMADURAS E CHUMBADOUROS DE FUNDAÇÃO DE TORRE AUTOSSUPPORTADA.....	9
FIGURA 2.7 – TORRE TIPO LIGHT.....	10
FIGURA 2.8 – SAPATA DE TORRE TIPO LIGHT.....	10
FIGURA 2.9 – TORRE TRELIÇADA TRIANGULAR	11
FIGURA 2.10 – TORRE TRELIÇADA QUADRANGULAR	11
FIGURA 2.11 – LIGAÇÃO ENTRE MONTANTES EM BOLACHA	11
FIGURA 2.12 – LIGAÇÃO ENTRE MONTANTES EM CANTONEIRA	11
FIGURA 2.13 – TORRE TRELIÇADA DE SECÇÃO VARIÁVEL EM ALTURA.....	12
FIGURA 2.14 – EXEMPLOS DE TORRES TRELIÇADAS ESPIADAS	13
FIGURA 2.15 – DISPOSITIVO ANTI TORSOR	15
FIGURA 2.16 – EXEMPLO DE MACIÇO DE ANCORAGEM, ESPIAS E ACESSÓRIOS.....	15
FIGURA 2.17 – TORRE DE BETÃO DE SECÇÃO CIRCULAR.....	16
FIGURA 2.18 – TORRE DE BETÃO DE SECÇÃO H.....	16
FIGURA 2.19 – EXEMPLO DE TORRE TRANSPORTÁVEL.....	18
FIGURA 2.20 – EXEMPLOS DE TORRES ÁRVORE	19
FIGURA 2.21 – EXEMPLOS DE ESCADAS.....	21
FIGURA 2.22 – CARRIL GUIA	21
FIGURA 2.23 – LINHA DE VIDA	21
FIGURA 2.24 – PLATAFORMA SIMPLES COM VARANDIM	22
FIGURA 2.25 – PORMENOR DE FIXAÇÃO DE PLATAFORMA EM TORRE TUBULAR	22
FIGURA 2.26 – PORMENOR DE FIXAÇÃO DE PLATAFORMA EM TORRE MULTIFACETADA	22
FIGURA 2.27 – PORMENOR PLATAFORMA TORRE TRELIÇADA.....	23
FIGURA 2.28 – INTERFACE TIPO CABEÇO TRIANGULAR.....	24
FIGURA 2.29 – INTERFACE TIPO ESTRELA	24
FIGURA 2.30 – BRAÇOS DE AFASTAMENTO FIXOS À PLATAFORMA	25
FIGURA 2.31 – SISTEMA DE PLATAFORMAS DUPLO, COM VARANDIM EM APENAS UMA	26
FIGURA 2.32 – SISTEMA DE PLATAFORMA E ANEL SUPERIOR.....	26
FIGURA 2.33 – INTERFACES FIXOS AO FUSTE.....	26
FIGURA 2.34 – EXEMPLOS DE ANTENAS DE TELECOMUNICAÇÕES	27
FIGURA 2.35 – EXEMPLO DE PARA-RAIOS.....	28
FIGURA 2.36 – EXEMPLO DE SINALIZADOR LUMINOSO	28
FIGURA 3.1 – ENSAIO DE VERTICALIDADE COM RECURSO A ESTAÇÃO TOTAL	31

FIGURA 3.2 – ENSAIO DE MEDIÇÃO ESPESSURA DE AÇO	32
FIGURA 3.3 – MEDIÇÃO DE TENSÃO DE ESPIAS	33
FIGURA 3.4 – COLAPSO DE TORRE ESPIADA.....	34
FIGURA 3.5 – EXEMPLOS DE ACESSÓRIOS DE ESPIAMENTO COM CORROSÃO.....	35
FIGURA 3.6 – LIGAÇÃO APARAFUSADA ENTRE PERFIS COM CORROSÃO.....	35
FIGURA 3.7 – LIGAÇÃO APARAFUSADA ENTRE MONTANTES COM CORROSÃO.....	35
FIGURA 3.8 – EXEMPLOS DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS SEM APERTO.....	36
FIGURA 3.9 – MEDIÇÃO DO MOMENTO DE APERTO DE UM PARAFUSO.....	36
FIGURA 3.10 – LIGAÇÃO SEM SISTEMA DE APERTO.....	37
FIGURA 3.11 – CRUZAMENTO DE CORDÕES NA SOLDADURA	38
FIGURA 3.12 – CORDÃO DE SOLDADURA DE UM GOUSSET DA BASE A ABRIR	38
FIGURA 3.13 – CORDÃO DE SOLDADURA COM POROS.....	40
FIGURA 3.14 – CORDÃO DE SOLDADURA CORROÍDO POR FALTA DE PROTEÇÃO ANTI CORROSIVA	40
FIGURA 3.15 – VESTÍGIOS DE DESGASTE E PERDA DE TONALIDADE NUMA TORRE METÁLICA	41
FIGURA 3.16 – DESTACAMENTO DA PELÍCULA DE TINTA NUMA CANTONEIRA.....	41
FIGURA 3.17 – MEDIÇÃO DE ESPESSURA DE PELÍCULA DE TINTA NO FUSTE DE UMA TORRE METÁLICA	41
FIGURA 3.18 – EXEMPLO DE ENSAIO DE QUADRÍCULA NO FUSTE DE TORRE	42
FIGURA 3.19 – ESCORRÊNCIA DE CORROSÃO NA ESTRUTURA DE BETÃO	44
FIGURA 3.20 – FISSURA NA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO.....	44
FIGURA 3.21 – EXEMPLOS DE DESAGREGAÇÃO DO BETÃO E EXPOSIÇÃO DE ARMADURAS	45
FIGURA 3.22 – PERDA DE TONALIDADE DO FUSTE DE BETÃO ARMADO.....	49
FIGURA 3.23 – DESGASTE DE PINTURA EM TORRE DE BETÃO ARMADO.....	49
FIGURA 3.24 – TROÇO DE ESCADA COM CORROSÃO	50
FIGURA 3.25 – LIGAÇÃO ESCADA/TORRE COM CORROSÃO AVANÇADA	50
FIGURA 3.26 – LIGAÇÃO ENTRE TROÇOS DE ESCADA COM CORROSÃO NOS ELEMENTOS DE APERTO	50
FIGURA 3.27 – EXEMPLOS DE ELEMENTOS METÁLICOS COM CORROSÃO	51
FIGURA 3.28 – PERNO COM CORROSÃO E FALTA DE CONTRAPORCA	52
FIGURA 3.29 – FRATURA DE UM DOS PERNOS DO CHUMBADOURO	52
FIGURA 3.30 – VERIFICAÇÃO DO MOMENTO DE APERTO DO CHUMBADOURO	53
FIGURA 3.31 – ENSAIO DE TRAÇÃO OU ARRANQUE DE CHUMBADOURO	53
FIGURA 4.1 – EXEMPLOS DE REFORÇOS DE TORRES TUBULARES	59
FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE BARRA DE REFORÇO EM TORRE TRELIÇADA	60
FIGURA 4.3 – ETAPAS PARA INSTALAÇÃO DE TRÊS CERRA-CABOS NUMA ESPIA	61
FIGURA 4.4 – ETAPAS DE SUBSTITUIÇÃO DE PARAFUSO.....	62
FIGURA 4.5 – ESCOVAGEM DE VARÕES APÓS REMOÇÃO DE BETÃO DESAGREGADO.....	72
FIGURA 4.6 – APLICAÇÃO DE ARGAMASSA.....	72
FIGURA 4.7 – EXEMPLO DE DEGRAU EMPENADO	74
FIGURA 4.8 – DEGRAU DE ESCADA COM PERDA DE SECÇÃO DEVIDO A CORROSÃO	74
FIGURA 4.9 – EXEMPLO DE PLATAFORMA DEGRADADA	75
FIGURA 4.10 – EXEMPLO DE VARANDIM COM PERDA DE SECÇÃO	75

FIGURA 4.11 – ANTES E DEPOIS DA REENGENHARIA EXECUTADA NUMA TORRE TUBULAR	76
FIGURA 4.12 – ANOMALIA EM MACIÇO DE ENCABEÇAMENTO	77
FIGURA 4.13 – ESCOVAGEM DOS VARÕES DOS CHUMBADOUROS	77
FIGURA 4.14 – VERIFICAÇÃO DO APERTO DAS PORCAS E CONTRAPORCAS DO CHUMBADOURO	77
FIGURA 5.1 – TORRE DE CANAS DE SENHORIM	81
FIGURA 5.2 – DESVIO VERTICALIDADE DA TORRE CANAS DE SENHORIM	81
FIGURA 5.3 – ANOMALIAS NA PINTURA DA TORRE E FISSURAÇÃO GRAVE NA LAJE	82
FIGURA 5.4 – FALTA DE TROÇO DE ESCADA INICIAL E PORTA ANTI ESCALAMENTO	82
FIGURA 5.5 – LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM EFETUADA	83
FIGURA 5.6 – VISTA DO ATERRO ONDE SE ENCONTRA IMPLANTADA A ESTAÇÃO	83
FIGURA 5.7 – REMOÇÃO DE LAJE JUNTO AO MACIÇO DE FUNDAÇÃO	83
FIGURA 5.8 – PEDRAS GRANÍTICAS SOBRE O MACIÇO DE FUNDAÇÃO DA TORRE.....	83
FIGURA 5.9 – ESQUEMA DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DAS COTAS DA SUPERFÍCIE DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO.....	84
FIGURA 5.10 – VISTA GERAL DO FUSTE ONDE É VISÍVEL UM ESPAÇAMENTO EXCESSIVO ENTRE TROÇOS.....	86
FIGURA 5.11 – FLUXOGRAMA COM INDICAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ATUAÇÃO.....	87
FIGURA 5.12 – EXEMPLO DE COLOCAÇÃO DE UMA DAS MICROESTACAS	89
FIGURA 5.13 – POSICIONAMENTO DOS DOIS TROÇOS SUPERIORES	90
FIGURA 5.14 – APERTO DOS LIGAÇÕES APARAFUSADAS ENTRE TROÇOS	90
FIGURA 5.15 – VEDANTE COLOCADO NAS FLANGES	90
FIGURA 5.16 – PORMENOR DAS PLATAFORMAS E INTERFACES INSTALADOS NA NOVA TORRE.....	91
FIGURA 5.17 – PORMENOR DA PORTA ANTI ESCALAMENTO E SISTEMA ANTI-QUEDA INSTALADOS	91
FIGURA 5.18 – ESTADO FINAL DA NOVA TORRE DE CANAS DE SENHORIM.....	92
FIGURA 5.19 – VISTA GERAL DA TORRE DE MONTEDOR.....	93
FIGURA 5.20 – FISSURAÇÃO E PRESENÇA DE MANCHAS NA ZONA INTERIOR DO PERFIL	94
FIGURA 5.21 – VARÕES HORIZONTAIS À VISTA.....	94
FIGURA 5.22 – ESBOROAMENTO DO BETÃO, COM VARÃO CORROÍDO	94
FIGURA 5.23 – ABRAÇADEIRAS DE FIXAÇÃO DOS INTERFACES COM ELEVADA CORROSÃO	94
FIGURA 5.24 – PARAFUSARIA DOS INTERFACES COM CORROSÃO	94
FIGURA 5.25 – ETAPAS DE TRATAMENTO DE UMA SECÇÃO NA TORRE DE MONTEDOR	96
FIGURA 5.26 – VISTA FINAL DA TORRE DE MONTEDOR APÓS CONSERVAÇÃO.....	98

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 4.1 – CATEGORIAS DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA E EXEMPLOS DE AMBIENTES, [13]	65
QUADRO 4.2 – GRAUS DE PREPARAÇÃO PRIMÁRIA DE SUPERFÍCIE, ANEXO A [15].....	67

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 – RESUMO DE PATOLOGIAS POR TIPOS DE TORRES	55
TABELA 4.1 – EXEMPLOS DE ESQUEMAS DE PINTURA PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA	69
TABELA 5.1 – DIMENSÕES TEÓRICAS DA TORRE DE CANAS DE SENHORIM	80
TABELA 5.2 – DESVIOS RELATIVOS REAIS ENTRE UNIÕES DE TROÇOS DA TORRE.....	85
TABELA 5.3 – DIMENSÕES REAIS DOS TROÇOS TORRE CANAS SENHORIM	85

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

As torres de telecomunicações representam um dos suportes físicos mais importantes para a instalação de equipamentos que permitem diversos serviços como rádio, televisão e comunicações móveis. A tipologia destas torres varia como consequência da sua finalidade, da sua localização e ações a que estão sujeitas, sendo na sua generalidade estruturas leves, esbeltas e flexíveis.

A evolução das comunicações móveis em Portugal, em particular na segunda metade do século XX, conduziu a uma extensa procura por torres para a instalação destes equipamentos. Também devido à extrema importância que as mesmas representam no nosso quotidiano, existe atualmente um acréscimo de preocupação no que diz respeito à beneficiação de estruturas de suporte e no desenvolvimento de estudos sobre o seu comportamento.

Como causa e/ou consequência das distribuições territoriais, as inovações em matéria de telecomunicações tendem, tal como outras infraestruturas e equipamentos públicos, a beneficiar sempre, e em primeiro lugar, as áreas de maior densidade de ocupação, porque aí se concentram os argumentos mais fortes para o investimento e sua reprodutividade.

Surgiu assim, com maior incidência nos principais centros populacionais, também a necessidade de construir este tipo de infraestrutura no topo de edificações existentes, exigindo especial atenção com o dimensionamento da torre, assim como das zonas de fixação desta à estrutura existente.

O rápido crescimento da rede originou ainda cadastros insuficientes e um reduzido número de auditorias, de onde resultaram vários erros construtivos e soluções em todo o território nacional de escassa qualidade.

No que respeita às crescentes preocupações ambientais, urge encontrar soluções, no âmbito da engenharia, que permitam minimizar os impactos no meio ambiente

originados pela instalação de estruturas compostas por torres e outros componentes tecnológicos. Efetivamente, não só está em causa a modificação da paisagem, como a produção de ruídos e a exposição do meio ambiente e das populações a radiações de ondas eletromagnéticas, assim como a elementos possíveis de contaminar os solos.

Dada por vezes a dificuldade em colocar estas torres nas zonas supra referidas, é possível observar em inúmeros casos a existência de partilhas entre operadores, o que significa um aumento do número de equipamentos instalados na mesma estrutura. Este fator permite a rentabilização de espaços e em alguns casos a divisão de custos, embora obrigue por diversas vezes a que a estrutura se encontre em serviço no limite da sua capacidade resistente, ou até acima da mesma, geralmente designando-se em sobrecarga.

Existe assim a necessidade de monitorizar e proceder a trabalhos de beneficiação deste tipo de estruturas com alguma regularidade, bem como efetuar análises estruturais por forma a validar a instalação dos equipamentos, assegurando a fiabilidade das estruturas e garantindo o fornecimento dos serviços desejados.

Infelizmente, o número de anomalias observadas é elevado em comparação com outras estruturas de igual importância económica e social, e deve-se essencialmente a erros de conceção, resultando em estruturas com menores níveis de segurança que podem até conduzir ao seu colapso.

Este trabalho resulta assim da experiência adquirida na área, tanto ao nível de projeto, como na realização de inspeções e de acompanhamento de obras de conservação das infraestruturas que serão indicadas.

1.2. Objetivos

Um dos principais objetivos deste trabalho é dissertar sobre um tema que, embora não seja aprofundado no meio académico no decorrer do curso de Engenharia Civil, expõe estruturas com um impacto económico e social notável no nosso país, não existindo atualmente muitos trabalhos de mestrado sobre o mesmo.

Pretende-se apresentar as principais formas de avaliação da integridade de estruturas metálicas e de betão, com vista à manutenção preventiva, na procura de

descontinuidades que possam provocar uma falha no seu correto funcionamento ou utilização, que no limite possam resultar em acidentes com prejuízos graves.

Esta dissertação tem como propósito inerente a sistematização de processos de inspeção e manutenção de infraestruturas metálicas e de betão armado de suporte de equipamentos de telecomunicação, que se torna um pouco vasta dada a diversidade de tipologias existentes. Estruturas particulares, pela sua altura ou forma, pelas características de alguns dos seus componentes, ou ainda por estarem localizadas em zonas com condições geológicas e climáticas especiais, podem exigir considerações adicionais, que se pretende neste documento indicar as mais significativas.

Poderá ainda servir de apoio à criação de documentos que sirvam de base ao trabalho de campo, fundamental na realização de inspeções e/ou preparação de obras de beneficiação das estruturas, indicando metodologias a adotar e referindo os requisitos a respeitar bem como as normas aplicáveis, sempre que possível.

1.3. Organização do trabalho

A presente dissertação inicia com uma breve exposição no segundo capítulo das torres de suporte de equipamentos de telecomunicação mais comuns em Portugal, onde são referidas as diferentes tipologias, assim como algumas das suas características. São também indicados os principais acessórios bem como os diferentes modelos de equipamentos que estão na sua maioria presentes nestas estruturas.

Nos dois capítulos seguintes, os temas serão apresentados tendo por base o principal material constituinte da estrutura, ou seja, criando uma divisão entre torres metálicas e torres de betão armado, no que diz respeito aos conteúdos tratados em cada um.

No capítulo 3 abordam-se aspetos relativos à inspeção das estruturas, com base nas patologias geralmente observadas, referindo também os ensaios que poderão ser realizados e respetivas normas aplicáveis. Além da inspeção das torres metálicas e de betão armado, indicam-se também os procedimentos de inspeção para aspetos comuns às várias tipologias de torres.

De forma a corrigir as patologias indicadas anteriormente, no capítulo 4 propõe-se abordar o tema da manutenção e beneficiação dos diversos elementos estruturais e não estruturais, dando especial foco à proteção anticorrosiva, uma vez que grande

percentagem destes elementos a tratar são metálicos. Serão ainda explanados alguns métodos de substituição de elementos nestas estruturas.

O capítulo 5 referente a dois casos de estudo, pretende-se que seja um resumo e uma aplicação do que foi apresentado nos capítulos anteriores, considerando a influência da tipologia da estrutura, a sua localização geográfica bem como as patologias que apresenta, na escolha dos ensaios de inspeção necessários realizar e na decisão sobre as medidas corretivas a implementar.

2. Torres de Telecomunicações

2.1. Características gerais de torres de telecomunicações

A rede de telecomunicações em Portugal está atualmente suportada por estruturas com diversas características, que com base em algumas semelhanças podem ser agrupadas para melhor entendimento e perceção da vasta tipologia existente.

No que respeita ao principal material constituinte da estrutura, o parque de torres pode ser dividido em dois grupos: torres metálicas e torres de betão. No entanto, é possível classificar os tipos de torres mais representativos da seguinte forma:

- Torres metálicas
 - Torres tubulares autossuportadas
 - Torres treliçadas autossuportadas
 - Torres espiadas
- Torres de betão
- Outros tipos

De seguida serão caracterizados de forma sucinta os principais grupos referidos, quanto ao tipo de elementos, a sua geometria, ligação ao suporte, entre outros aspetos que nos permitem um melhor conhecimento dos mesmos.

2.1.1. Torres tubulares autossuportadas

As torres tubulares ou monopolo como habitualmente se designam, caracterizam-se por serem mastros autoportantes, constituídos por vários troços, podendo subdividir-se em dois tipos principais: torres tubulares de secção circular (Figura 2.1) e torres tubulares de secção poligonal (Figura 2.2).

A altura das torres tubulares varia habitualmente entre os 20 e os 50 m, sendo que a altura dos troços que as constituem varia entre os 6 e os 15 m. Apresentam secções transversais metálicas ocas, com diâmetros exteriores que geralmente variam entre os 1200 mm na base e 300 mm no topo, e espessuras entre os 6 e os 9 mm. Todas as

dimensões referidas variam consoante o fabricante da torre, sendo assim também mais fácil a sua identificação, uma vez que cada um apresenta características distintas.



Figura 2.1 – Torre metálica de secção tubular

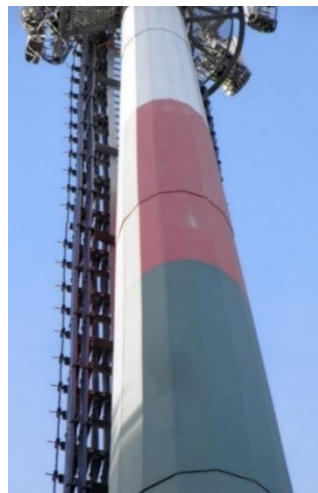


Figura 2.2 – Torre metálica secção hexadecagonal

Quanto às diferenças entre as duas tipologias de monopolo, pode referir-se a geometria dos troços: os troços das torres de secção circular são geralmente cilíndricos, enquanto nas torres de secção poligonal os troços são cónicos. As torres de secção cónica apresentam uma variação linear, em altura, do diâmetro da sua secção, o que permite obter uma esbelteza superior quando o nível de esforço assim o permita. Os troços de maiores dimensões são utilizados na base, verificando-se também uma redução da espessura entre os mesmos, à medida que aumenta a altura da torre em relação à base. As secções transversais deste tipo de torres são geralmente octogonais (8 faces), dodecagonais (12 faces) ou hexadecagonais (16 faces).

No caso dos monopolo circulares, uma vez que os troços são cilíndricos, não existe variação do diâmetro exterior nem da espessura ao longo da altura de cada troço. Nestas torres, em função da altura das mesmas, a geometria mantém-se para os troços superiores, apresentando o troço da base maior diâmetro e espessura de chapa, por forma a resistir ao aumento do nível de esforço nessa zona.

No que diz respeito às uniões entre troços, estes dois tipos de torres também apresentam diferenças entre si. No caso dos monopolo de secção poligonal, esta ligação é feita por encaixe – ver Figura 2.3, sendo por isso uma forma mais simples e rápida de montagem quando comparada com as restantes. Este tipo de união funciona por atrito entre as secções metálicas e deve ser executada, idealmente, com recurso a macacos hidráulicos

montados em dispositivos especificamente fabricados para o efeito, de modo a facilitar o encaixe e desencaixe dos troços sem provocar o empenamento dos mesmos.

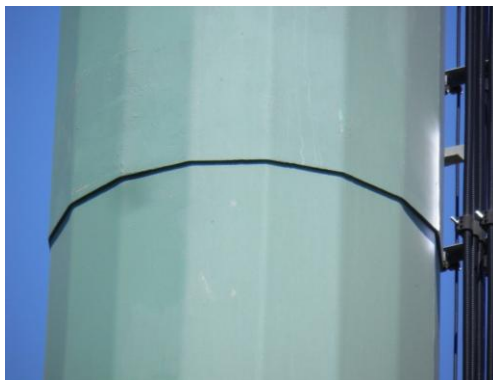


Figura 2.3 – União entre troços por encaixe

Por outro lado, uma característica dos monopolo de secção circular é o facto de apresentarem ligações aparafusadas nestas uniões, o que permite a fácil assemblagem da torre e uma taxa de reaproveitamento (desmontagem e transporte para outro local) muito elevada, conforme se observa na Figura 2.4.



Figura 2.4 – União entre troços por flange aparafusada

As torres metálicas de suporte de antenas apresentam geralmente uma fundação direta, nos casos onde os solos apresentam condições geotécnicas para suporte deste tipo de fundações, constituída por uma sapata de betão armado onde a torre é encastrada, por intermédio de varões de aço geralmente designados de chumbadouros, ligados à chapa da base. A fundação monobloco é a mais utilizada neste tipo de estruturas por conduzir a soluções de menor área e de maior eficiência no equilíbrio dos esforços. As fundações profundas são utilizadas apenas em situações onde a fundação direta se torna inviável, pelas características do solo onde se pretende implantar.

A generalidade das fundações deste tipo apresenta a geometria de um bloco de betão de grande volumetria (normalmente entre 10 a 20 m³), dependendo da envergadura da estrutura a que serve de suporte. Este elevado volume de betão serve o propósito de evitar a perda de equilíbrio global da estrutura, quando sujeita à ação condicionante do vento.

Pelas dimensões da fundação, em caso de dimensionamento estrutural, poder-se-ia chegar à conclusão de que não seria necessária armadura de aço para resistir ao nível de esforços. No entanto, ao abrigo da regulamentação, as estruturas de betão armado devem possuir pelo menos uma armadura mínima, sendo o que se verifica nas fundações de alguns fabricantes destas estruturas.

Existem porém, outras possibilidades de configurações geométricas de fundações, com o mesmo tipo de funcionamento, no entanto apresentam um plinto para o encaixe da base do monopolo. Este plinto permite que a fundação se encontre abaixo da laje de regularização do pavimento, e que o encastramento dos chumbadouros sobressaia, conforme é possível observar na Figura 2.5.

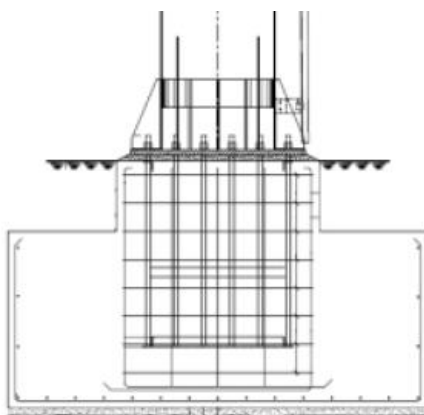


Figura 2.5 – Esquema de uma fundação tipo plinto

Os chumbadouros da torre que conferem o grau de encastramento à estrutura são geralmente função da altura da mesma e a sua configuração espacial depende também do fabricante. Na sua maioria, são colocadas porcas de nivelamento entre a fundação e a chapa da base da torre, de forma a afinar a verticalidade da mesma, conforme visível na Figura 2.6. Após assentamento da torre, são colocadas anilhas, porcas e contraporcas de aperto dos chumbadouros à base.

Tendencialmente, este espaço é selado com uma argamassa monocomponente à base de cimento de retração compensada, prevenindo o desaperto das porcas, evitando problemas de flexão e de empenamento da chapa.



Figura 2.6 – Armaduras e chumbadouros de fundação de torre autossuportada

Ainda inserido nesta tipologia de estrutura, existem as torres do tipo *Light*, que foram desenvolvidas com base em duas premissas fundamentais: o baixo impacto visual, pela sua semelhança a um poste de iluminação, e a rapidez de execução - pela facilidade de assemblagem e pelas fundações superficiais pré-fabricadas. A rapidez de execução advém ainda da celeridade de resolução de processos de licenciamento, uma vez que para estes casos este processo é facultativo. Apresenta ainda vantagens no que diz respeito aos custos reduzidos, uma vez que se tratam de elementos totalmente pré-fabricados, facilita eventuais processos de realocização de equipamentos. Como desvantagem principal pode apontar-se a sua limitação ao nível da capacidade de carga.

A torre tipo *Light* é constituída por um fuste de formato tronco piramidal tubular, em chapa quinada e unida por soldadura longitudinal, com alturas variáveis entre os 20 e os 30 m (ver Figura 2.7). A assemblagem da torre é feita de igual forma aos monopolo de secção poligonal, conforme já referido neste subcapítulo.

Assume-se como uma estrutura ligeira, de baixo impacto aerodinâmico ao vento, necessitando de uma pequena área para sua instalação, uma vez que a torre, vedação e os armários dos equipamentos a instalar assentam diretamente sobre a sapata, conforme é visível a título de exemplo na Figura 2.8.



Figura 2.7 – Torre tipo Light



Figura 2.8 – Sapata de torre tipo Light

O aço utilizado na construção dos perfis das torres tubulares autoportantes varia consoante o tipo de torre e respetivo fabricante, sendo os mais utilizados os aços das classes S235 e S275.

2.1.2. Torres treliçadas autossuportadas

Existem na sua grande maioria dois tipos de torres treliçadas autoportantes: torres de base triangular e torres de base quadrangular. Esta diferenciação deve-se à geometria da secção transversal, embora existam também diferenças ao nível das ligações dos elementos constituintes da treliça, bem como da variabilidade da robustez da torre em altura.

As torres metálicas treliçadas são constituídas por montantes verticais – três no caso de torres de base triangular (Figura 2.9) e quatro no caso de torres de base quadrangular (Figura 2.10) – solidarizados por travessas e diagonais. Os perfis utilizados nos elementos estruturais podem apresentar diversas geometrias, tais como: secção tubular, cantoneiras de abas iguais ou abas distintas.



Figura 2.9 – Torre treliçada triangular



Figura 2.10 – Torre treliçada quadrangular

Estas estruturas, à semelhança do que acontece nas torres tubulares, são constituídas por troços unidos entre si por meio de flanges aparafusadas, por uma questão de facilidade construtiva. Cada um destes módulos poderá ser montado em fábrica e posteriormente ser transportado para a obra, ou até mesmo ser totalmente montado em obra, de acordo com especificações do fabricante e pormenores de assemblagem definidos no projeto, como acontece nos exemplos visíveis na Figura 2.11 e na Figura 2.12.



Figura 2.11 – Ligação entre montantes em bolacha



Figura 2.12 – Ligação entre montantes em cantoneira

Os perfis metálicos utilizados nas torres são pré-fabricados e enformados a quente. No caso das torres cujas uniões dos perfis são soldadas, estas deverão preferencialmente ser executadas em fábrica, procedendo-se apenas à união das flanges dos vários troços da torre no local. No caso de a torre possuir elementos apenas com ligações aparafusadas, estas podem ser efetuadas em estaleiro, cumprindo conforme já referido, os desenhos e pormenores do projeto.

Relativamente à união das barras que constituem cada um dos troços (montantes, diagonais e travessas), estas poderão ser de dois tipos: aparafusadas ou soldadas.

À semelhança do que acontece nas torres tubulares autoportantes, também nas torres treliçadas existem vários fabricantes o que origina uma vasta diversidade nas estruturas existentes no território nacional. Existem torres em que se verifica uma variação de robustez em altura, nos montantes de secção circular, onde há uma diminuição da secção e da espessura das paredes, mantendo-se regular neste caso a distância entre montantes em toda a altura da torre. Há ainda casos em que a robustez dos perfis constituintes da torre vai diminuindo com a altura, bem como a distância entre os montantes, como o exemplo da Figura 2.13, permitindo assim ter maior capacidade resistente nas zonas onde o esforço é maior, e ainda menor área de exposição ao vento com o aumento da altura.



Figura 2.13 – Torre treliçada de secção variável em altura

O aço estrutural utilizado no fabrico dos perfis metálicos é o aço da classe S235.

Estas torres podem alcançar alturas superiores à das torres tubulares devido principalmente ao seu menor peso, uma vez que poderão apresentar uma massa de aproximadamente 70 kg/m, enquanto os monopolo podem atingir mais de 200 kg/m, nos troços de maiores dimensões. Este facto deve-se ao grande índice de vazios das estruturas em forma de treliça. No entanto, as alturas dos monopolo e das torres treliçadas que compõem o parque de torres de telecomunicações em Portugal, situam-se habitualmente entre os 20 e os 50m.

Em geral, as fundações das torres treliçadas são efetuadas da mesma forma que as fundações das torres tubulares, com a diferença de dispensarem a chapa de base, sendo que cada montante é fixo através de chumbadouros a um maciço de betão armado.

2.1.3. Torres espiadas

As torres espiadas são compostas por um mastro metálico em geral muito esbelto, constituído por módulos de secção constante ou variável, e fixo lateralmente ao longo do comprimento por cabos espiados no solo – ver Figura 2.14 a) e b). Este mastro é de constituição idêntica ao que já foi referido no capítulo anterior das torres treliçadas autossuportadas, no que diz respeito à geometria e ligações dos perfis metálicos (montantes, travessas e diagonais).



a) Torre espiada em edifício



b) Torre espiada no solo

Figura 2.14 – Exemplos de torres treliçadas espiadas

Dependendo das condições da envolvente e dos equipamentos que se pretende instalar, as torres espiadas podem apresentar uma enorme variabilidade, nos seguintes aspetos:

- Altura da torre;
- Dimensões e tipologia dos perfis: montantes, diagonais e travessas;
- Número de níveis de espas e respetivas cotas;
- Diâmetro do cabo das espas;
- Número de ancoragens;
- Tipo de espamento – simples ou duplo.

Dada esta diversidade de variáveis, é ainda com relativa facilidade que estas configurações se modifiquem ao longo do período de vida útil da estrutura, uma vez que o aumento da capacidade de carga destas torres poderá passar pela reformulação do sistema de espiamento. Este tipo de reforço já não é tão viável no caso das torres autossuportadas, sendo muitas vezes necessário aliviar o nível de carga da torre, ou substituir a torre por outra mais robusta, caso se verifique a necessidade de aumentar esse mesmo nível de carga.

No que respeita à constituição deste tipo de torres, os perfis metálicos são fabricados com um aço de classe S235. Já as espias, são constituídas por um tipo de aço designado de alta resistência, com tensões de rotura na ordem dos 1370 MPa, para suportarem os elevados esforços de tração a que estão sujeitas.

As torres espiadas de secção triangular podem ter três ou seis cabos por nível de espiamento, sendo em alguns casos equipadas de dispositivos anti-torção, idênticos ao Figura 2.15, formados por braços afastados do mastro que absorvem como o nome indica, os esforços de torção.

O número de ancoragens varia também consoante a altura da torre e o respetivo número de espias. No entanto, é habitual que por alinhamento, em cada ancoragem não se encontrem mais do que quatro cabos. Caso a altura da torre justifique a utilização de mais espias, deverão ser criadas novas ancoragens no mesmo alinhamento. A distância entre estes pontos e a torre depende da cota de fixação do cabo na torre, bem como do ângulo que fazem com o terreno de implantação. Na Figura 2.16 mostra-se um exemplo de uma ancoragem no solo.

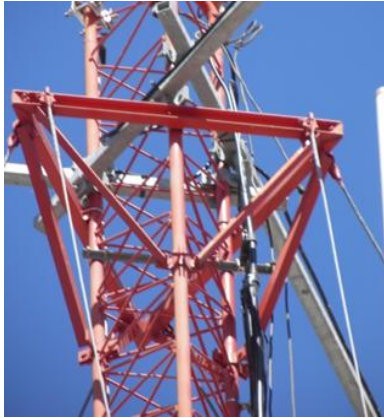


Figura 2.15 – Dispositivo anti torsor



Figura 2.16 – Exemplo de maciço de ancoragem, espias e acessórios

As fundações são executadas em maciços de betão, tanto para a base da torre como para as ancoragens dos espiaamentos.

Estas torres são geralmente mais esbeltas que as torres autoportantes, podendo atingir maiores alturas, uma vez que a sua estabilidade é garantida não só pela própria estrutura e pela fundação, mas também por via da utilização de espias. Devido ao menor peso das torres espiadas, e existindo a necessidade dos equipamentos atingirem determinada cota, é habitual a sua colocação no topo de edifícios, tornando-se numa solução bastante comum em zonas urbanas.

A maior torre espiada existente em Portugal, mais concretamente na vila de Muge, concelho de Salvaterra de Magos, tem 265 m de altura e pertence à Radio Renascença.

Torna-se o grupo que apresenta maiores vantagens ao nível dos custos e rapidez de execução, face aos monopolos, principalmente quanto maior for a altura da torre. Porém, a imensa área necessária para a fixação dos cabos torna a solução muitas vezes dispendiosa face a outras soluções, sendo por isso a implantação deste tipo de torres no solo menos representativa em número.

2.1.4. Torres de Betão

Existem torres cuja estrutura é constituída por um monopolo em betão armado. As torres de betão apresentam geralmente secção transversal circular ou em H, com dimensões variáveis em altura – ver exemplos nas Figura 2.17 e Figura 2.18. São construídas em fábrica e levadas para o local de implantação em transporte apropriado.



Figura 2.17 – Torre de betão de secção circular



Figura 2.18 – Torre de betão de secção H

A dimensão do cabouco onde é instalada a torre varia em função da altura total da mesma e é definida pelo fabricante dada a enorme variedade de tipologias de estruturas existentes. Após a abertura do cabouco, a torre é implantada de forma a garantir a sua verticalidade, procedendo-se posteriormente ao preenchimento do espaço vazio entre o cabouco e a estrutura com betão. Uma fundação alternativa é a de encamisar o cabouco, deixando uma folga ao poste de 0.1 m, colocando cunhas de madeira antes do preenchimento com betão para controlo da verticalidade. Caso o solo não apresente as características necessárias, poderá ser necessário consolidar o fundo do cabouco com uma camada de cascalho, betão simples ou mesmo betão armado antes da implantação da torre.

Assim, no caso das torres de betão armado não existe nenhum interface de ligação entre as duas, ao contrário do que acontece nas torres metálicas, conforme já indicado.

As torres deste tipo possuem habitualmente alturas compreendidas entre os 20 e os 50 m, sendo possível encontrar em Portugal torres de betão com alturas superiores a 70 m. Uma vez que existe uma enorme variedade de modelos, não é possível estabelecer uma regra ao nível da distribuição de armaduras. São compostas por varões de aço A500 NR, de execução manual, distribuídas em quantidade adequada aos esforços atuantes e capacidade pretendida.

As torres de betão apresentam maior robustez quando comparadas com as torres metálicas, bem como maior índice de durabilidade do material quando exposto a ambientes muito agressivos, desde que devidamente monitorizados. No que diz respeito

à fixação dos equipamentos, é muito semelhante ao que encontramos nas torres metálicas, sendo apresentado no próximo subcapítulo os elementos metálicos de suporte.

2.1.5. Outros tipos de torres

Dependendo do objetivo da instalação da estrutura, bem como das exigências e especificidades de um determinado local, existem outras soluções que conduzem a tipologias de torres semelhantes às referidas anteriormente, embora se destaquem por alguma característica especial. De seguida são referidas algumas dessas tipologias, juntamente com uma breve descrição das mesmas.

Torres Transportáveis

É o caso das soluções transportáveis, utilizadas quando há necessidade de cobertura ou reforço da mesma, num determinado espaço por um intervalo de tempo definido, como por exemplo, um evento num recinto. Estas são soluções aligeiradas e de fácil montagem, mas com capacidade limitada da carga que podem suportar. A sua morfologia caracteriza-se por uma estrutura metálica suportada no contentor, onde se encontram armazenados os equipamentos de *hardware*, edificando-se a torre acima deste, funcionando o peso do contentor favoravelmente ao equilíbrio global da estrutura.

As torres transportáveis são geralmente treliçadas de base quadrada, constituídas tipicamente por troços de 3 m, podendo ter alturas variáveis, tanto quanto se pretenda e dependendo também do local de implantação. Os troços da torre encontram-se interligados por ligações aparafusadas para facilitar a sua montagem, constituídos por travessas e diagonais, formando em planta um quadrado. Dependendo da altura da torre, a largura da sua secção global pode tornar-se cada vez mais estreita, sendo variável de caso para caso, dependendo também da localização geográfica onde se pretende implantar.

Na Figura 2.19 apresenta-se uma perspetiva geral de uma torre transportável.



Figura 2.19 – Exemplo de torre transportável

A torre apoia numa grelha de perfis H, solidária com a estrutura fixa ao contentor, e toda a estrutura apoia no pavimento por intermédio de quatro sapatas pré-fabricadas de betão armado. À semelhança do que acontece nas torres *Light*, também as transportáveis não apresentam fundações diretas, pela sua condição temporária, o que permite maior facilidade e rapidez na sua realocização. O aço utilizado neste tipo de torres é um S235, à semelhança das tipologias de torres metálicas treliçadas já supramencionadas neste capítulo.

Torres Árvore

Quando existem constrangimentos ao nível do meio envolvente, e é necessário causar o mínimo de impacto visual, recorre-se à solução de uma torre árvore. A torre árvore não é mais do que uma torre tubular autossuportada de secção multifacetada (24 faces), constituída por troços ligados entre si por uma junta de encaixe com uma sobreposição de 1 m, sendo que a altura de cada troço e as cotas dos encaixes variam consoante a altura da torre. As alturas destas torres podem variar entre os 15 e os 30 m.

Os troços que constituem a torre árvore são em chapa de aço quinada, com espessuras de 6 a 8 mm, conforme a sua altura. De forma a garantir a continuidade da estrutura, todas as ligações aparafusadas são executadas *in situ* por aperto mecânico, através de equipamentos apropriados.

Tal como acontece nos monopolo, a torre é encastrada diretamente numa fundação em betão armado de secção quadrada, por intermédio de chumbadouros aparafusados à chapa da base, sendo que neste caso esta é soldada ao primeiro troço da torre.

Esta solução é também equipada com uma escada vertical no seu interior, onde também se encontra instalado o caminho de cabos, em toda a altura de modo a facilitar o acesso aos equipamentos existentes no topo.

No topo da torre é colocado um sistema de interfaces, usualmente composto por três sectores, suportado num tubo de 3.2 m de altura fixo ao último troço, onde também se instala a estrutura de fixação da ramagem do píncaro, que completa a torre árvore e disfarça as antenas de telecomunicações, conforme se pode verificar na Figura 2.20 a).

Existem ainda vários tipos de ramagem a instalar no fuste através de tubos previamente soldados ao mesmo (ver Figura 2.20 b)), onde serão fixos por aperto mecânico as ramagens que podem imitar pinheiros, palmeiras ou ciprestes. Estas estruturas apresentam um revestimento em resina poliuretano, com o intuito de o disfarçar de tronco de árvore, apresentando um efeito “casca de árvore”.



a) Exemplo de torre árvore



b) Exemplo de ramagem em torre árvore

Figura 2.20 – Exemplos de torres árvore

De modo a prevenir eventuais degradações de serviço, os materiais utilizados nas ramagens não possuem nenhum componente metálico, por se encontrarem junto às antenas, sendo utilizados produtos como fibra de vidro, compósito, PVC, entre outros, garantido o correto funcionamento dos equipamentos.

Estas torres afiguram-se como peças mais robustas do que os monopolo usuais, pelo facto de terem uma copa formada por ramos artificiais, solidarizados ao mastro, que aumentam significativamente a área de exposição da estrutura à sua ação condicionante: o vento.

2.2. Acessórios e equipamentos

As torres de telecomunicações suportam além das antenas, um conjunto de outros equipamentos e acessórios tais como interfaces, escadas de acesso, caminhos de cabos, entre outros. Uma vez que estes elementos têm determinada influência na resposta da estrutura às ações a que é sujeita, torna-se importante conhecer a tipologia dos mesmos, o mais detalhadamente possível.

Assim, apresentam-se neste subcapítulo, algumas características dos principais acessórios existentes neste tipo de estruturas.

2.2.1. Escadas

As escadas são geralmente compostas por perfis aparafusados entre si, e entre os mesmos e a torre, colocadas em toda a altura da estrutura, com a função de garantir o acesso a todos os pontos da mesma. Existem diferentes tipos de escadas, dependendo também da tipologia e dimensão da infraestrutura de suporte.

Em alguns casos é ainda visível a utilização de guarda corpos – ver Figura 2.21 b), embora este elemento tenha vindo a cair em desuso nos últimos tempos em detrimento da utilização de um sistema de dispositivo anti-queda. Esta opção confere maior segurança ao trabalhador, bem como reduz a área de exposição ao vento ao longo da torre, devido ao menor número de elementos.



a) Sem guarda corpos



b) Com guarda corpos

Figura 2.21 – Exemplos de escadas

Os dispositivos anti-queda dizem respeito a linhas de vida, que podem ser rígidas ou flexíveis, como por exemplo, o carril guia ou linha de vida vertical em cabo de aço Figura 2.22 e Figura 2.23, respectivamente. Estes equipamentos facilitam o acesso ao topo da torre e melhoram a comodidade dos técnicos. Contudo, requerem inspeção periódica anual, por técnicos certificados pelo respectivo fabricante, o que acarreta elevados custos anuais de manutenção.



Figura 2.22 – Carril guia



Figura 2.23 – Linha de vida

2.2.2. Plataforma de trabalhos

A plataforma de trabalhos tem como objetivo principal suportar um técnico e respetivo equipamento, para execução de trabalhos técnicos ou de inspeção. Este elemento pode ser instalado a diferentes níveis de altura ao longo da torre, e servir de interface à fixação dos equipamentos de telecomunicações, reduzindo substancialmente a área de exposição ao vento na mesma.



Figura 2.24 – Plataforma simples com varandim

As plataformas são constituídas por componentes metálicos reticulados, formados por perfis em aço galvanizado de secção tubular ou em cantoneira, unidos através de ligações aparafusadas ou por soldadura, formando um piso e um varandim, como a que se exemplifica na Figura 2.24. Atualmente, com o objetivo de aligeirar as soluções, tem-se optado pela instalação de plataformas sem varandim, permitindo assim reduzir a área de exposição na torre.

Estes elementos fixam-se por aperto, no caso das torres de secção tubular, por intermédio de um anel metálico, podendo existir na infraestrutura barras solidarizadas ao fuste da torre, de modo a servirem de apoio à plataforma – Figura 2.25. No caso das torres multifacetadas, a área de contacto destes anéis circulares de fixação é bastante reduzida, os elementos fixam-se por atrito, conforme se pode observar na Figura 2.26.



Figura 2.25 – Pormenor de fixação de plataforma em torre tubular



Figura 2.26 – Pormenor de fixação de plataforma em torre multifacetada

Em torres treliçadas, é habitual a instalação das plataformas no interior da própria estrutura, nos casos em que as dimensões o permitam, sendo também visível em

estruturas de maior altura a existência de plataformas exteriores, conforme se pode observar na Figura 2.27.

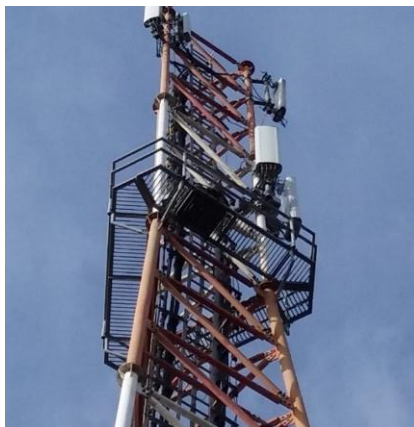


Figura 2.27 – Pormenor plataforma torre treliçada

2.2.3. Interfaces metálicos

Os interfaces metálicos são estruturas de aço galvanizado, que servem de suporte aos equipamentos de telecomunicações. São, à semelhança das plataformas, formados por barras de aço galvanizado ligadas por intermédio de soldadura ou parafusos.

No entanto, é possível observar-se uma enorme variedade de formas e tamanhos destes elementos, uma vez que a instalação varia consoante o número e especificidade do equipamento que se pretende instalar. A grande diversidade geométrica ao nível dos interfaces de suporte prende-se sobretudo com duas razões: a primeira diz respeito a questões técnicas, que por exigência de determinadas antenas obriga a que exista distanciamento entre as mesmas; e a outra está relacionada com o método de fixação destes elementos à estrutura, existindo conforme já suprarreferido no subcapítulo 2.1, uma vasta diversidade de tipologias de torres.

Estes elementos metálicos, por aumentarem significativamente a área de exposição no topo da torre, e conseqüentemente serem bastante penalizadores à estrutura, têm sofrido uma evolução ao longo do tempo, no sentido de se tornarem cada vez mais esbeltos, conforme é sucintamente explanado de seguida. Este alívio de carga promoverá, dentro dos limites de capacidade da torre e do seu estado de conservação, a adição de antenas ou possibilidade de partilha com outros operadores.



Figura 2.28 – Interface tipo cabeça triangular

Na Figura 2.28 mostra-se um dos interfaces mais robustos que é possível encontrar no parque de torres de telecomunicações a nível nacional, denominado por cabeça triangular. Como já referido, estes interfaces aumentam substancialmente a área de exposição, e é tanto mais gravoso quanto mais alta for a torre.

Existem também interfaces que permitem variar o azimute das antenas, compostos por uma base triangular ou circular fixa à torre, onde são colocados braços metálicos de afastamento e na extremidade de cada um destes existe um braço móvel, no qual se encontram barras metálicas, onde são fixas as antenas de telecomunicações – Figura 2.29, usualmente designados por interface em estrela. De modo a fixar a orientação, são instalados cabos de aço nas barras e fixos à estrutura central.

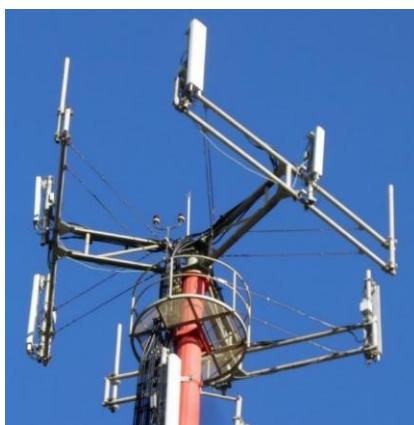


Figura 2.29 – Interface tipo estrela

Existe outra tipologia de interfaces que permitem o afastamento de antenas, constituído por perfis metálicos tubulares, fixos à plataforma da torre por intermédio de abraçadeiras metálicas, geralmente designado por interface em estrela (no caso de ter

três braços), contempla uma configuração para três ou mais sectores, podendo cada um ser composto por duas antenas. Permite ainda que sejam instalados mais equipamentos diretamente na plataforma, caso a torre apresente capacidade estrutural para toda a carga que lhe é imposta, conforme apresentado na Figura 2.30.



Figura 2.30 – Braços de afastamento fixos à plataforma

Os interfaces apresentados até agora, apesar de cumprirem as exigências do equipamento, no que diz respeito ao seu afastamento, possuem, no entanto, maior área de exposição que os interfaces que se apresentam de seguida. Outra contrapartida está relacionada com o difícil acesso aos equipamentos em caso de avaria, não permitindo que o técnico execute o trabalho em ideais condições de segurança.

O interface apresentado na Figura 2.31 é constituído por duas plataformas, uma com varandim e outra sem, que por sua vez suportam seis perfis tubulares verticais, para instalação de diversos sectores de antenas. Trata-se de um interface de menor robustez e a sua inferior área de exposição alivia a torre do ponto de vista estrutural, conforme já referido. Na Figura 2.32 trata-se de uma situação idêntica, no entanto apenas existe um anel metálico a uma cota superior à plataforma, para fixação dos três perfis verticais. Este anel possibilita uma fixação mais robusta dos interfaces verticais, permitindo a instalação de mais equipamentos, não aumentando de forma significativa a área de exposição relativa aos elementos metálicos.



Figura 2.31 – Sistema de plataformas duplo, com varandim em apenas uma



Figura 2.32 – Sistema de plataforma e anel superior

Pelas suas características e fácil assemblagem, os interfaces compostos apenas por anéis e pequenos braços para fixação dos suportes verticais, são frequentemente utilizados em torres partilhadas com outros operadores, sendo possível a instalação de mais do que um nível de antenas, conforme se pode ver na Figura 2.33.



Figura 2.33 – Interfaces fixos ao fuste

Pelas razões já indicadas, a tendência é que se removam os interfaces mais robustos em prol da instalação das antenas diretamente ao fuste da torre, melhorando o comportamento estrutural da mesma.

2.2.4. Antenas de telecomunicações

São vários os equipamentos que se encontram instalados em torres de telecomunicações, cada um com a sua função, complementando-se entre si de modo a proporcionar o correto funcionamento do serviço a que se destinam. Habitualmente, a

maioria dos equipamentos e acessórios são colocados em função da quantidade, tipologia e altura de elevação das antenas que se pretendem instalar, considerando-se assim o principal equipamento presente neste tipo de estruturas.

Existem diferentes tipos de antenas de telecomunicações, que variam quanto às suas funções, altura necessária ao seu perfeito funcionamento e o fim a que se destinam.

As antenas da rede móvel têm geralmente um formato de um painel retangular, conforme é visível na Figura 2.34 a), sendo que as suas dimensões variam consoante o fabricante e as necessidades e objetivos da telecomunicação pretendida. Podem assim ser colocadas a uma altura variável da torre, conforme as exigências próprias, e assumir outras geometrias além do formato retangular, como por exemplo as antenas com forma parabólica, como se pode ver nas Figura 2.34 b), c) e d).



a) Painel retangular



b) Omni



c) Mini-link



d) Painel de televisão

Figura 2.34 – Exemplos de antenas de telecomunicações

2.2.5. Outros acessórios

Além dos equipamentos de radiação, existem ainda acessórios que frequentemente se encontram instalados nas torres de telecomunicações.

De forma a proteger a estrutura de possíveis descargas elétricas atmosféricas - raios, é instalado um para-raios no topo da torre. O para-raios é uma haste de metal, fixa em interface próprio, atraindo para a sua ponta as descargas e desviando-as para o solo através de cabos, conforme se apresenta na Figura 2.35 . Estes cabos são fixos ao longo da torre e enterrados no solo em local próprio durante a execução da fundação da estrutura, criando um caminho de descarga à terra que minimiza os efeitos prejudiciais do raio no local.



Figura 2.35 – Exemplo de para-raios



Figura 2.36 – Exemplo de sinalizador luminoso

Outro acessório habitualmente presente nas torres é o sinalizador luminoso, visível na Figura 2.36 . De acordo com a circular de informação aeronáutica, relativa a “*Limitações em altura e balizagem de obstáculos artificiais à navegação aérea*” [1], torna-se necessário sinalizar obstáculos artificiais, de modo a torná-los visíveis a uma distância considerada segura para que o piloto se aperceba da sua presença.

Nesta circular é considerado obstáculo qualquer poste, mastro ou antena, isolado, que ultrapasse a altura de 30m. Assim, em todas as torres com altura igual ou superior a este valor possuem no topo um balizador luminoso, constituído por duas lâmpadas, fixo em interface próprio. No caso das torres treliçadas autossuportadas, de grande dimensão em planta, é comum instalar-se sinalizadores luminosos nos bordos, cumprindo com o referido no ponto 9.1.2 [1]. É também estabelecido neste documento que em torres com alturas superiores a 45 m, em relação aos obstáculos circundantes, devem ser colocadas luzes a níveis intermédios.

3. Inspeção de Torres de Telecomunicações

3.1. Considerações iniciais

Neste capítulo pretende-se abordar os métodos utilizados na realização de inspeções às estruturas mencionadas no segundo capítulo. Sendo as ações de inspeção um conjunto de atividades de análise visual e/ou através de aparelhos de medição, descreve-se nos casos mais comuns os ensaios realizados.

Na sequência da realização destes procedimentos, surgem diversas patologias, as quais serão resumidamente indicadas no final deste capítulo, sendo na sua grande maioria, correntes em toda a extensão do parque de torres de telecomunicações.

Cada operadora de telecomunicações estabelece anualmente um plano anual de inspeções, conforme é também explicado por Ana Murteira no trabalho resultante do estágio realizado numa empresa deste sector onde aborda a implementação de um sistema de inspeção e manutenção destas estruturas [2]. Esta escolha assenta num critério empírico que tem como base de avaliação a proximidade de habitações e vias de comunicação, proximidade da costa, antiguidade da instalação e altitude de implantação. Estes parâmetros de avaliação tentam, de uma forma indireta, apreciar o estado de conservação de uma torre, uma vez que é atribuída prioridade às torres mais antigas e inseridas em ambientes mais agressivos para o material, e cujo risco aumenta para o dono da infraestrutura.

Dada a idade de algumas destas estruturas, não existem projetos ou quaisquer dados de natureza fidedigna que as possam caracterizar, pelo que as ações de inspeção permitem ainda ao proprietário das infraestruturas manter uma base de dados atualizada, além de permitir projetar de forma eficiente o plano anual de manutenção, que será abordado no capítulo seguinte.

A inspeção de uma torre assenta num conjunto de recolha de alguns parâmetros que permitam aferir a continuidade, ou não, do serviço da estrutura. Após elaboração do relatório final, surgem três resultados possíveis:

- A estrutura cumpre os critérios de aceitação definidos de acordo com a regulamentação em vigor, bem como outros requisitos que possam ser definidos pelo operador, estando apta para continuar em funcionamento;
- A estrutura apresenta itens não conformes, definidos de acordo com a documentação de referência em vigor, no entanto não apresenta anomalias graves, estando garantida a segurança da operação da mesma, até serem aplicadas as medidas corretivas para as situações não conformes;
- A estrutura apresenta itens não conformes, definidos de acordo com a documentação de referência em vigor, apresentando anomalias graves, não estando garantida a segurança da operação da mesma.

Neste capítulo não se abordará a inspeção de equipamentos de proteção coletiva, nem serão referidas as patologias que habitualmente se registam, uma vez que estes elementos são inspecionados e posteriormente corrigidos por técnicos com formação específica, indicada pelo fabricante do mesmo. Estes equipamentos apesar de não apresentarem carácter estrutural, dada a sua importância, carecem geralmente de inspeção anual.

3.2. Procedimentos de inspeção - Torres metálicas

A inspeção visual neste tipo de torres permite verificar o estado da ancoragem e da estrutura metálica, bem como a condição de alguns elementos não estruturais, sem recorrer a qualquer equipamento de medição. Esta ação poder ser realizada apenas a partir da base da torre, ou ainda com acesso ao topo da mesma, permitindo o registo fotográfico mais detalhado.

Existem situações em que se torna necessário avaliar os diversos elementos de forma mais aprofundada, como por exemplo o estado da pintura ou das soldaduras, efetuando-se assim ensaios não destrutivos, dando origem a uma inspeção mais completa.

3.2.1. Conformidade dos elementos metálicos estruturais

Verificação da verticalidade da torre

Uma vez que a função primordial destas estruturas é o suporte de equipamentos de radiação, e estes possuem na sua maioria exigências funcionais relacionadas com a oscilação que podem sofrer durante o seu funcionamento, a verificação da verticalidade

da torre torna-se um dos principais aspetos. É geralmente definido pelo operador, um valor máximo para o deslocamento no topo da torre.

Visualmente é possível detetar anomalias, no entanto, será sempre necessário efetuar algumas medições de modo a aferir com rigor a correta posição da estrutura. Para tal, poderá ser utilizado um equipamento designado estação total, que permite determinar o ângulo de rotação da estrutura em relação à sua base, bem como o desvio em planta e em alçado, entre a base e o topo da mesma. Este equipamento é um instrumento ótico, que resulta da combinação de um teodolito eletrónico - um dispositivo de medição eletrónica de distância, e um *software* que correm num computador externo, como por exemplo o que se mostra na Figura 3.1. Com uma estação total é possível determinar ângulos e distâncias, onde, com auxílio da trigonometria, são determinadas as coordenadas de posições de pontos de referência, tais como a base da torre, o seu topo e alguns pontos intermédios, onde, por exemplo, seja necessária a instalação de novos equipamentos de telecomunicações.



Figura 3.1 – Ensaio de verticalidade com recurso a estação total

Esta medição permite ainda, de forma indireta, a verificação da segurança aos estados limites últimos, uma vez que o valor máximo estipulado pelo operador, poderá servir de critério de verificação. Ou seja, verificar-se-á a segurança da estrutura para um valor de $\delta_{topo} \leq 1^\circ$, considerando uma velocidade de vento igual a 100 km/h. A possível falha na verticalidade, poderá estar relacionada com uma das seguintes causas mais comuns:

- Erros de construção e/ou montagem dos troços da torre;
- Assentamento de fundações;

- Excesso de carga instalada.

Estrutura

A inspeção visual deverá sempre ser realizada de forma minuciosa, elemento a elemento, de forma a detetar empenas, deformações e fissuras ao longo da estrutura. Nas torres treliçadas deve também ser verificada a ausência de diagonais e travessas com encurvadura excessiva.

Durante a inspeção de estruturas metálicas pode ser verificado se os troços constituintes das mesmas se encontram em conformidade com o projeto original, relativamente às suas características e dimensões. Quando se pretenda medir a espessura de aço dos perfis dos vários elementos da estrutura, poderá recorrer-se a um instrumento de medição por ultrassons, como por exemplo o que é mostrado na Figura 3.2. Este ensaio não destrutivo, possibilita a realização das medições sem que seja removido o revestimento, permitindo ainda detetar discontinuidades internas, baseando-se no fenómeno de reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material. É também possível detetar corrosão nas peças onde é efetuada a medição.

Geralmente, a estrutura é dividida em diversas faixas, de comprimentos variável consoante a sua altura, efetuando-se a medição da espessura em três ou quatro zonas distintas para a mesma altura. Deste modo é possível determinar a média das espessuras medidas, sendo que esta deverá ser igual ou superior às contempladas no projeto.



Figura 3.2 – Ensaio de medição espessura de aço

Cabos de espiamento

No caso das torres metálicas espiadas, além da observação visual e restantes verificações aos elementos estruturais, é ainda necessário proceder à medição da tensão existente nos cabos de aço, uma vez que se trata de um fator importante para a estabilidade deste tipo de estruturas.

Esta medição é realizada através de um aparelho designado tensiómetro, projetado para medir o esforço existente no cabo sem ser necessária a sua desinstalação, e sem qualquer prejuízo para o mesmo – ver Figura 3.3 a) e b) O resultado gerado pelo sensor equipado com medidores de tensão é interpretado por um monitor digital controlado por um microprocessador. O equipamento possui uma base de dados que contém uma lista de cabos, de diâmetro e construção específica, sendo selecionado nesta lista, o cabo cujas características correspondem aquele onde se pretende efetuar a medição. Esta tarefa é executada pelo técnico no local, antes de cada medição, uma vez que pode acontecer a mesma torre possuir cabos de diferentes diâmetros consoante a altura de instalação. A força apresentada no ecrã do tensiómetro resulta da correção do esforço medido, com base nas características do cabo selecionado – ver Figura 3.3 c).



a) Vista geral da aplicação do tensiómetro no cabo



b) Posição do tensiómetro no cabo



c) Vista do ecrã do tensiómetro

Figura 3.3 – Medição de tensão de espas

De modo a controlar a deformação dos cabos e evitar que os mesmos fiquem suscetíveis a fenómenos de fadiga e conseqüente relaxação, associados às vibrações introduzidas pela ação do vento, é indicado no projeto a tensão inicial a aplicar em cada cabo de aço. Assim, durante o período em serviço da torre espiada, é usual existirem diferenças nos valores de tensão presente nos mesmos, sendo da máxima importância monitorizar estes valores, de modo a não ultrapassarem os limites mínimos e máximos, geralmente também definidos em projeto. A tensão máxima atuante ao nível das espigas é calculada tendo em consideração a combinação de ações mais desfavorável para cada uma destas.

De forma geral, é possível afirmar que o número de anomalias observadas nas torres espiadas é elevado, em comparação com outras estruturas de igual importância económica e social. Grande percentagem destas anomalias é devido a erros de conceção e ausência de monitorização durante o seu tempo de vida útil, resultando em estruturas com menores níveis de segurança, que podem até conduzir ao seu colapso conforme é visível na Figura 3.4, considerando-se estruturas de análise complexa.



Figura 3.4 – Colapso de torre espiada

Nestas torres, a inspeção visual deverá estender-se aos acessórios de espionamento, uma vez que é bastante comum os mesmos apresentarem alguma oxidação. Conforme podemos observar nas Figura 3.5 a) e b), onde diversas manilhas bem como os varões dos esticadores apresentam já corrosão acentuada. Por vezes, também é visível no próprio cabo alguma oxidação, principalmente quando estas estruturas se encontram próximas de ambientes marítimos.



a) Manilhas com corrosão



b) Esticadores e cerra-cabos com corrosão

Figura 3.5 – Exemplos de acessórios de espionamento com corrosão

3.2.2. Conformidade das ligações

Ligações aparafusadas

Em grande parte das torres metálicas a patologia mais comum nas ligações aparafusadas é a presença de oxidação, conforme é visível nas Figura 3.6 e Figura 3.7



Figura 3.6 – Ligação aparafusada entre perfis com corrosão



Figura 3.7 – Ligação aparafusada entre montantes com corrosão

Nas ligações aparafusadas estruturais, que correspondem à ligação entre troços ou entre montantes, é da máxima importância verificar não só a presença de oxidação, mas também as dimensões dos parafusos, porcas e anilhas, bem como o seu aperto. Outra das anomalias visíveis é o desaperto dos parafusos, conforme se constata nas Figura 3.8 a) e b). Estas dimensões devem ser adequadas às funções que exercem e semelhantes às indicadas em projeto, e podem ser aferidas com a utilização de um paquímetro.

Para os parafusos com rosca métrica, o momento de aperto é definido de acordo com a norma ISO 898-1 [3], sendo que todos devem ser marcados de acordo com a sua classificação – um padrão que usa um sistema de dois dígitos, no qual o primeiro se

refere à tensão de rotura à tração multiplicada por 100 N/mm^2 , e o segundo dígito indica a relação entre esta e a tensão de cedência do parafuso. A título de exemplo, um parafuso de classe 8.8 designa um parafuso com uma tensão de rotura à tração de 800 N/mm^2 e uma tensão de cedência de $0.8 \times 800 = 640 \text{ N/mm}^2$, conforme indicado no Quadro 3.1 da NP EN 1993-1-8 [4].



a) Vista da folga entre chapa e sistema de aperto b) Vista da rosca da porca desapertada

Figura 3.8 – Exemplos de ligações aparafusadas sem aperto

Assim, conhecendo a classe do parafuso, o seu diâmetro e rosca, é possível verificar o seu momento de aperto. O torque, ou momento, pode ser medido de duas formas: dinamicamente, enquanto o parafuso é apertado, ou estaticamente, verificando o valor recorrendo a uma chave dinamométrica. O aparelho permite a leitura do valor do momento de forma instantânea quando o parafuso começa a girar, sendo realizada manualmente, conforme é possível observar na Figura 3.9.

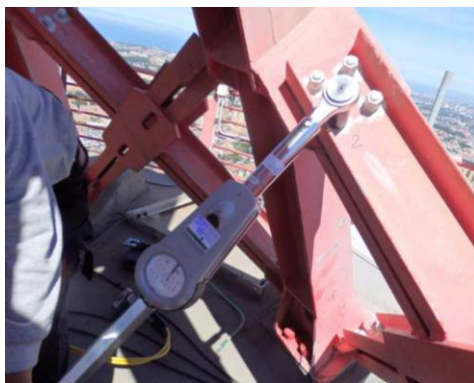


Figura 3.9 – Medição do momento de aperto de um parafuso

Existem ainda casos de ligações onde se observa a falta de parafusos – ver Figura 3.10. Estas anomalias podem dever-se ao avançado estado de corrosão dos elementos metálicos, que origina a sua perda de secção.

A monitorização do momento de aperto isoladamente não constitui garantia de que a força de união é suficiente para a carga para a qual a junta foi projetada. Existem diversos erros que podem ocorrer e resultar em pré-tensão inadequada do parafuso, apesar do momento de aperto correto. Poderá detetar-se a existência de roscas danificadas ou roscas com corte insuficiente, ou ainda a falta de componentes nas juntas, como por exemplo as anilhas. A incorreta execução das juntas de ligação entre troços, bem como o deficiente isolamento entre as mesmas, pode também ser uma causa para a fratura e corrosão dos parafusos.



Figura 3.10 – Ligação sem sistema de aperto

Neste aspeto a inspeção visual torna-se fulcral, uma vez que é comum existir uma percentagem reduzida de parafusos que apresentam corrosão, ao longo de todo o comprimento da torre, ou até parafusos com incorreto sistema de aperto, sendo necessária a sua substituição. Um bom levantamento durante a inspeção permite reduzir os custos da manutenção, não efetuando trabalhos desnecessários.

Ligações soldadas

Em torres de telecomunicações as ligações soldadas são geralmente executadas em estaleiro, e estão presentes em cordões de soldadura de canto entre as zonas de ligação dos cutelos aos perfis tubulares, assim como na ligação entre troços em determinadas tipologias de torres. Existe ainda a presença de elementos soldados, por exemplo, nos interfaces de suporte de equipamentos e nas escadas instaladas nas torres.

A inspeção das soldaduras previne a ocorrência de falhas nas estruturas em serviço, possibilitando a determinação de características, propriedades, dimensões, bem como a detecção e caracterização de possíveis defeitos. O tamanho de uma soldadura pode ser extremamente importante na medida em que está frequentemente relacionado com a resistência da soldadura e desempenho associado, isto é, as soldaduras subdimensionadas podem não suportar tensões aplicadas durante o serviço. Por outro lado, as discontinuidades das soldaduras podem ser também importantes. Estas são imperfeições dentro ou adjacentes à soldadura, que podem ou não, dependendo do seu tamanho e/ou localização, impedir a soldadura de ter o desempenho pretendido. Tipicamente estas discontinuidades, quando têm um tamanho ou localização inaceitável, são referidas como defeitos de soldadura e podem por vezes, causar a falha prematura da soldadura na medida em que reduzem a sua resistência.

Em algumas torres são detetadas deficiências ao nível do cruzamento de soldaduras e ligações deste tipo mal efetuadas, que se traduzem numa fragilidade da estrutura e numa possível zona de cedência do material, como se pode observar nas Figura 3.11 e Figura 3.12.



Figura 3.11 – Cruzamento de cordões na soldadura



Figura 3.12 – Cordão de soldadura de um gousset da base a abrir

Existem diversos ensaios não destrutivos, que podem ser agrupados segundo vários critérios, isto é, em função da sua aplicação, dos princípios físicos ou da sua capacidade de detecção, que serão indicados de seguida.

Na deteção de discontinuidades de reduzidas dimensões, e localização de fissuras superficiais, ou seja, defeitos que surgem à superfície da peça, é usual aplicar-se o ensaio por líquidos penetrantes. Esta destaca-se pela sua simplicidade e precisão, podendo ser realizado *in situ* e sem destruição da peça que se pretende ensaiar. O

líquido penetrante é aplicado com pincel, pistola ou *spray*, na zona onde se pretende efetuar o ensaio, deixando atuar por um determinado período de tempo. Após o tempo suficiente para a penetração do líquido, é efetuada a remoção do excesso do mesmo, sendo colocado um revelador que irá destacar a localização das descontinuidades superficiais.

A radiografia é outro método, adequado para a deteção de descontinuidades quer à superfície, quer no interior do material. Este método, bastante utilizado no controlo de soldaduras, permite examinar a estrutura interna da soldadura, de forma a determinar a sua integridade sem destruir o componente soldado, e a identificação da natureza do defeito.

Já no controlo de soldaduras por ultrassons, nem sempre a natureza do defeito é claramente identificada. Trata-se de um ensaio muito sensível, que tem por objetivo principal a procura de descontinuidades internas da soldadura. A inspeção de soldadura requer por isso um técnico com formação adequada, por forma a conseguir identificar claramente a origem do eco e poder concluir, com justeza, sobre a caracterização real de um defeito.

Dada a dificuldade que por vezes existe na interpretação dos resultados destes métodos, é também recorrente utilizar-se um duplo controlo, isto é, executar dois ensaios para a mesma peça, como por exemplo, o controlo radiográfico e os ultrassons. Existem ainda fatores que condicionam a escolha dos ensaios, tais como a composição do material, a geometria da peça e o tipo e natureza do defeito. Os resultados devem ser analisados e comparados, sempre que possível, com o projeto da torre.

A inspeção visual é um método bastante eficaz na análise deste tipo de ligações, sendo geralmente precedido de outro ensaio mais completo, na medida em que assim é possível tirar e verificar dúvidas de interpretação de resultados. Nesta ação visual podem ser, ou não, utilizados equipamentos auxiliares como lupas e microscópios.



Figura 3.13 – Cordão de soldadura com poros



Figura 3.14 – Cordão de soldadura corroído por falta de proteção anti corrosiva

Nas soldaduras presentes neste tipo de estruturas, é ainda possível a deteção de outros defeitos, tais como:

- Presença de bordos queimados;
- Existência de sobresspesura dos cordões;
- Existência de poros nos cordões de soldadura – ver Figura 3.13;
- Presença de corrosão nas ligações soldadas – ver Figura 3.14.

3.2.3. Conformidade de revestimentos de proteção anticorrosiva

A proteção anticorrosiva das torres metálicas é obtida por metalização ou galvanização e posterior pintura, conforme será detalhadamente abordado no capítulo 4. Ainda em estaleiro, os troços da torre são tratados de forma a isolar o metal do meio envolvente, onde são realizadas medições das várias camadas aplicadas. São definidas zonas de controlo em número suficiente para que sejam representativas da estrutura e estabeleçam um padrão mínimo de aceitação do trabalho. Destas medições resulta um relatório elaborado por entidade competente, de forma a servir de cadastro e de base para as atividades de inspeção e posterior manutenção, onde são referidos os materiais utilizados e respetivas espessuras em cada demão.

Na inspeção visual do tratamento anticorrosivo por pintura, deve ser verificada a homogeneidade da cor, uma vez que esta pode apresentar vestígios de desgaste e alteração da tonalidade, como por exemplo se observa na Figura 3.15. Visualmente é ainda possível proceder ao controlo do sistema de balizagem diurna, obrigatório para torres com altura superior a 30 m, conforme disposto na alínea e) da CIA [1].



Figura 3.15 – Vestígios de desgaste e perda de tonalidade numa torre metálica



Figura 3.16 – Destacamento da película de tinta numa cantoneira

De forma a obter-se maior informação sobre a espessura da película seca, isto é, a espessura de revestimento que permanece sobre a superfície quando este tiver endurecido, é habitual recorrer-se a equipamentos de medição de espessura não destrutivos, conforme se exemplifica na Figura 3.17. Para tal, são novamente definidas zonas de controlo na torre, onde são realizadas várias medições da espessura total existente. Assim, é possível verificar se os valores se encontram de acordo com o definido em projeto, ou, em caso de ausência de cadastro, facilita o estabelecimento do esquema de pintura a aplicar no processo de manutenção.



Figura 3.17 – Medição de espessura de película de tinta no fuste de uma torre metálica

Dada a frequência com que se observa pontos de corrosão no fuste das torres, bem como o destacamento da película de tinta (ver Figura 3.16), principalmente nas estruturas localizadas em ambientes mais agressivos, a inspeção do revestimento existente pode ser mais completa através da realização de alguns ensaios.

De modo a averiguar a adequação da aderência dos revestimentos por pintura, visto tratar-se de uma propriedade essencial à durabilidade dos mesmos, existem métodos que envolvem o corte do revestimento numa forma geométrica específica, seguido da

resistência do mesmo a um esforço de tração e cisalhamento ou corte, proporcionado por uma fita adesiva apropriada. Um destes métodos encontra-se definido de acordo com a NP EN ISO 2409 [5], designado por ensaio da quadrícula ou “*cross-cut test*”, uma vez que o corte tem a forma de grade (quadrículas), conforme apresentado na Figura 3.18. Em função da área destacada pela fita adesiva, avalia-se através de padrões fotográficos, o grau de aderência do revestimento. Este processo tem a desvantagem de não considerar a forma do rompimento do revestimento, conduzindo a erros na avaliação dos resultados, no entanto apresenta uma grande vantagem na fácil execução e aplicação neste tipo de estruturas, dado que o ensaio é realizado muitas vezes em altura.



Figura 3.18 – Exemplo de ensaio de quadrícula no fuste de torre

No sentido de obter melhores resultados e mais completos na área da proteção anticorrosiva, tem sido bastante utilizado outro método na avaliação da aderência dos revestimentos por pintura. Comumente designado por ensaio “*pull-off test*”, definido segundo a NP EN ISO 4624 [6], trata a medição da aderência dos revestimentos por pintura pelo método de tração, por meio de equipamentos específicos para tal finalidade.

No revestimento seco, são coladas bolachas diretamente à superfície onde se pretende realizar o teste. Após a cura da cola, é colocado o equipamento de tração nas bolachas, sendo realizado o ensaio de tração controlado às mesmas, sendo medida a força necessária para romper, habitualmente, a ligação mais frágil.

Assim, este método permite para além da determinação do valor numérico da tensão de rutura, identificar ainda a natureza da falha de aderência, ou seja, o local onde ocorreu o rompimento, como por exemplo, entre o substrato e a primeira demão de tinta. Esta grande vantagem pode fornecer informação essencial relativamente a propriedades técnicas dos materiais utilizados no revestimento, bem como na escolha do esquema de

pintura a aplicar no futuro. No entanto, trata-se de um ensaio influenciado por diversos fatores, como o tipo de equipamento utilizado na execução, o tipo de substrato e o método de aplicação do revestimento.

Nos dois ensaios descritos, importa referir que a interpretação dos resultados depende da experiência do técnico que o executa.

3.3. Procedimentos de inspeção - Torres de betão

A inspeção de torres de betão armado contempla a observação visual e a execução de ensaios complementares de diagnóstico, e deve assentar em três condições base fundamentais:

- Averiguação da integridade estrutural da torre;
- Averiguação das condições de durabilidade da estrutura e do revestimento por pintura, caso exista;
- Averiguação do correto funcionamento de todos os elementos, incluindo os não estruturais, bem como dos equipamentos de telecomunicação.

A observação detalhada de todos os elementos em betão armado deve ser complementada por um registo fotográfico e por um mapeamento de anomalias visíveis a olho nu. Em casos específicos, é ainda possível indicar uma causa provável para a anomalia detetada e a consequência em termos estruturais ou de durabilidade.

Na Figura 3.19 é visível a escorrência no betão provocada pela corrosão das peças metálicas. Esta fixação origina a delaminação periférica do betão, que ao longo do tempo, pode originar a existências de fissuras de maior dimensão (Figura 3.20), uma vez que o betão é deteriorado pelos agentes atmosféricos.



Figura 3.19 – Escorrência de corrosão na estrutura de betão



Figura 3.20 – Fissura na estrutura de betão armado

No caso da inspeção visual não ser suficiente e de forma a obter uma avaliação mais correta e pormenorizada da patologia, podem ser realizados ensaios complementares de diagnóstico não destrutivos. Estes têm como principal objetivo a caracterização dos parâmetros físicos ou químicos do material da estrutura, detetando anomalias não visíveis sem recurso a equipamentos. É assim possível determinar o nível de contaminação do betão por cloretos ou dióxido de carbono, o nível de proteção das armaduras (recobrimento) e a disposição geométrica das mesmas, conforme será indicado neste capítulo. Existe uma vasta gama de ensaios em estruturas de betão armado, no entanto, serão apresentados os que mais se adequam às estruturas tratadas neste trabalho.

3.3.1. Conformidade dos elementos estruturais de betão

Medição do recobrimento e deteção de armaduras

O recobrimento das armaduras é fundamental para proteção das mesmas contra a corrosão. Em conjunto com os resultados dos ensaios de cloretos e de carbonatação, que serão abordados neste capítulo, é possível avaliar a qualidade desta proteção.

Nas Figura 3.21 a) e Figura 3.21 b) verifica-se desagregação do betão próximo da armadura, o que originou a exposição das armaduras e posteriormente o aparecimento da corrosão nos varões. Esta patologia pode ser originada pela falta de recobrimento, não tendo sido cumpridos os valores mínimos especificados em projeto. É também visível o aparecimento de infiltrações devido às fissuras que ocorreram na estrutura.



Figura 3.21 – Exemplos de desagregação do betão e exposição de armaduras

A determinação da concentração do íão cloreto no betão é essencial na avaliação da durabilidade do betão armado, especialmente nas estruturas localizados próximo da orla costeira. Uma elevada concentração de cloretos favorece o processo eletroquímico de corrosão das armaduras, contribuindo assim para uma acelerada deterioração da torre de betão armado.

O teor de cloretos é expresso em percentagem de íões por massa de cimento, cujos valores limites constam na NP EN 206-1:2007 [7], e dependem, entre outros fatores, da utilidade do betão.

O ensaio consiste na análise do pó de betão que é recolhido a várias profundidades da secção da torre, previamente seleccionadas, através da perfuração com broca com diâmetro mínimo de 1.5 cm. Deverão ser feitas, pelo menos, três recolhas: desde a superfície até 1 cm; um troço de 1 cm à profundidade do varão; último troço de 1 cm por detrás do varão. Entre cada recolha de pó é feita a limpeza cuidadosa dos furos, utilizando-se, por exemplo, uma bomba de ar manual, a fim de evitar a contaminação das amostras. O pó é protegido da contaminação em saquetas de plástico, hermeticamente fechadas e com indicação da profundidade a que respeitam, e transportado para o laboratório, onde é sujeito a análises que permitem determinar o teor de cloretos.

Importa referir que é necessário considerar as implicações estruturais resultantes da extração de carotes antes de as executar, bem como ter em consideração a sua dimensão. Deste modo, na seleção do ponto onde se realiza o ensaio, deve ser tido em conta a

posição das armaduras da torre em estudo, pelo que as mesmas deverão ser, antecipadamente, localizadas com um pacómetro e medido o seu recobrimento.

Determinação da profundidade de carbonatação do betão

O processo de carbonatação dá-se pela penetração do dióxido de carbono presente no ar, em especial nos ambientes industriais e urbanos, através dos poros do betão. O dióxido de carbono leva à transformação da cal em carbonato de cálcio, o que provoca a descida do pH do betão de cerca de 13.5 para valores abaixo de 9. Este processo causa a despassivação do aço o que conduz à corrosão das armaduras, mediante o acesso simultâneo de oxigénio e água.

Este ensaio permite determinar *in situ* o nível de contaminação do betão por dióxido de carbono, através da medição do pH da estrutura.

A técnica utilizada no ensaio consiste na abertura de um furo com uma broca/trado oco com 30 a 40 mm de diâmetro, onde é aplicada uma solução de fenolftaleína, cuja coloração se torna fúcsia para valores de pH entre 8.2 e 9.8, permanecendo incolor para valores inferiores. A cada avanço sucessivo de 1 cm, este furo é limpo com uma bomba de ar manual, a fim de se evitar a contaminação do betão carbonatado pelo betão não carbonatado. A aplicação da solução deverá ser feita sobre a superfície recém exposta, isto é, logo a seguir à furação. A medição da profundidade da frente de carbonatação será feita com recurso a um paquímetro.

Conforme já referido, também neste ensaio deverá existir cuidado na execução dos furos, uma vez que terá que ter em conta a posição das armaduras.

Avaliação da resistência superficial à compressão do betão

A avaliação da resistência à compressão superficial do betão existente nas torres deste tipo, pode ser realizada *in situ*, de forma simples e não destrutiva, através de ensaios com o esclerómetro de Schmidt. Trata-se de um equipamento concebido para obedecer à NP EN 12504-2 [8], com a possibilidade de testar uma grande variedade de betão, e de fácil utilização em trabalhos suspensos, como é o caso das torres de telecomunicações.

O ensaio deve realizar-se em superfícies de betão homogéneas, sendo removida a camada superficial através de raspagem, numa área com um diâmetro de pelo menos 15 cm, e efetuar nesta entre 5 a 10 leituras. No caso de existir revestimento de acabamento

por pintura de reduzida espessura, poderá ser avaliada a sua influência nos resultados do índice esclerométrico, comparando os resultados na mesma zona com e sem o referido revestimento.

Caso se disponham de resultados de ensaios de rotura à compressão sobre provetes cilíndricos recolhidos da estrutura em estudo, deverá ser aferida a correlação com os resultados dos ensaios esclerométricos.

Avaliação da qualidade do betão através de ultrassons

Os ensaios com ultrassons permitem a avaliação da qualidade do betão através da medição da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas

Para a medição da velocidade de propagação deverá ser escolhido preferencialmente o método direto (transdutores colocados em faces opostas), de seguida o método semidirecto (transdutores colocados em faces perpendiculares), e por fim o método indirecto (transdutores colocados na mesma face), tendo como base de suporte o referido na NP EN 12504-4 [9].

Deverá proceder-se à preparação das superfícies dos elementos a ensaiar, e os pontos de colocação dos transdutores deverão ser selecionados de modo a serem evitadas juntas e irregularidades superficiais, bem como zonas da secção resistente onde a densidade de armaduras é elevada. As distâncias entre os transdutores deverão ser medidas com fitas métricas com exatidão de pelo menos 2 mm.

Outra utilização deste ensaio, refere-se à medição da profundidade de fissuras no betão. Neste caso, os transdutores deverão ser colocados ao longo de um alinhamento, afastados entre si de distâncias múltiplas de pelo menos 10 cm, com o máximo de 15 cm, devendo serem feitas pelo menos 6 leituras, de modo a poder ser traçada a reta dos tempos de propagação e das distâncias.

Uma patologia comum nestas torres é o aparecimento de fissuração generalizada, geralmente dispersas e de baixa espessura, cujas causas podem advir do processo de construção. No entanto é importante monitorizar o desenvolvimento destas anomalias uma vez que podem estar relacionadas com outras de carácter mais gravoso. O aspeto e desenvolvimento das fissuras depende das ações que as causam. As cargas impostas na torre podem ser superiores à capacidade estrutural da mesma, e provocar níveis de

fendilhação inaceitáveis, sendo assim fulcral ter em atenção a adição de novos equipamentos.

3.3.2. Conformidade dos revestimentos superficiais

No caso das torres de betão armado, o revestimento por pintura deve cumprir com os requisitos obrigatórios exigidos pela NP EN 1504-2 [10], no que diz respeito à proteção da estrutura contra o ingresso de agentes corrosivos no betão. No entanto a nível nacional, não é tão comum a existência de torres desta tipologia com proteção por pintura, comparativamente às torres metálicas, dada a durabilidade do aço quando não protegido também ser inferior.

A exposição a ambientes com fortes concentrações de cloretos - ambientes marítimos, e ambientes com grande concentração de dióxido de carbono – interior de zonas urbanas e ambientes industriais, aceleram o processo de deterioração do betão, através da carbonatação do betão, destruição da película passiva das armaduras e consequente corrosão com perda de secção das mesmas.

Assim, a durabilidade da estrutura é geralmente garantida através da aplicação de tintas com baixa permeabilidade à água, aos cloretos e ao dióxido de carbono, protegendo o suporte dos agentes agressivos da atmosfera que nele podem penetrar sob a forma de gases ou sais dissolvidos.

É assim comum observar nestas estruturas patologias ao nível da pintura, conforme se observa na Figura 3.22 e Figura 3.23, onde existe um desgaste extremo da pintura e dificilmente é visível qual a tonalidade da mesma. Deste modo, também nas torres de betão armado a observação visual é muito importante no levantamento das anomalias, bem como na avaliação da conformidade relativa ao sistema de balizagem diurna [1].



Figura 3.22 – Perda de tonalidade do fuste de betão armado



Figura 3.23 – Desgaste de pintura em torre de betão armado

Nestas situações torna-se também necessário proceder à avaliação da aderência de revestimentos superficiais, conforme já foi referido para o caso das estruturas metálicas no subcapítulo 3.2.3. Assim, podem ser realizados os dois ensaios: o método de averiguação da aderência da película por tração, conhecido por “*pull-off test*”, definido segundo NP EN ISO 4624 [6]; e o método definido de acordo com a NP EN ISO 2409:2015 [5], designado por ensaio da quadrícula ou “*cross-cut test*”. Os procedimentos para a execução são idênticos aos já referidos para as torres metálicas.

3.4. Procedimentos de inspeção – aspetos gerais

3.4.1. Conformidade dos elementos não estruturais

Os elementos não estruturais, tais como, escadas de acesso, plataformas e interfaces, presentes nas torres de telecomunicações, por se tratar de elementos metálicos, são aplicados todos os ensaios já referidos e explanados no capítulo 3.2, relativo às torres metálicas.

No entanto, por desempenharem um papel fundamental nestas estruturas, considera-se necessário referir aqui algumas das patologias mais comuns. É por isso muito importante no caso dos elementos que serão indicados, proceder-se a uma inspeção visual rigorosa e criteriosa.

Iniciando pelas escadas, a inspeção visual deve incidir nos elementos que constituem os troços (Figura 3.24), nas ligações dos troços de escada à torre (Figura 3.25), e nas ligações entre troços de escada (Figura 3.26). Nestes elementos, além do sistema de aperto apresentar corrosão, são ainda visíveis degraus e cantoneiras bastante

deteriorados devido à corrosão, existindo em alguns casos perda de secção. Importa referir que estas secções podem tornar-se bastante frágeis, e no limite, originar um acidente grave, uma vez que a patologia poderá ocorrer numa ligação a alguns metros de altura da torre.



Figura 3.24 – Troço de escada com corrosão



Figura 3.25 – Ligação escada/torre com corrosão avançada

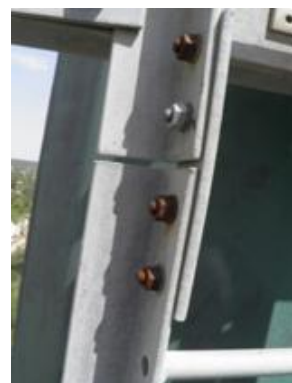


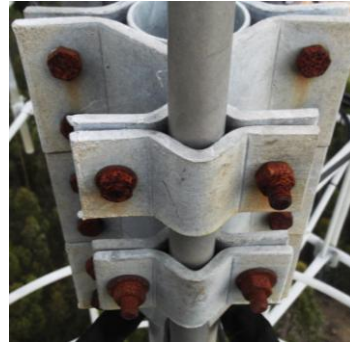
Figura 3.26 – Ligação entre troços de escada com corrosão nos elementos de aperto

Os interfaces, parafusos, porcas e anilhas, deverão estar protegidos com o mesmo revestimento de proteção anticorrosiva da estrutura. Muitas vezes isto não acontece nas torres, quer no que diz respeito aos parafusos, quer mesmo na instalação de abraçadeiras metálicas que não são galvanizados por imersão a quente. A longo prazo esta deficiência de proteção corrosiva torna-se notória e provoca o desgaste precoce das peças e a sujidade das outras sãs, conforme podemos observar a título de exemplo, nas Figura 3.27 a), b) e c).

Também esta anomalia presente nos interfaces de suporte apresenta um risco elevado para pessoas e bens, uma vez que pode provocar a queda do equipamento, e ainda uma desvantagem no corte do serviço.



a) Interface com presença de corrosão



b) Parafusaria com corrosão elevada



c) Abraçadeira com corrosão acentuada

Figura 3.27 – Exemplos de elementos metálicos com corrosão

3.4.2. Maciços de betão e chumbadouros

A inspeção dos maciços de fundação das torres prevê a avaliação da conformidade estrutural dos mesmos, dos maciços de encabeçamento e ainda dos pernos dos chumbadouros.

Quanto aos maciços de fundação, o ensaio com esclerómetro, já abordado no subcapítulo 3.3.1, permite estimar, de forma simples e não destrutiva, a resistência mecânica à compressão do betão. Os valores obtidos podem assim ser comparados com os indicados no projeto, relativamente à classe do betão utilizado.

De forma a estimar a volumetria do maciço de fundação, poderá recorrer-se a um radar de penetração no solo, geralmente designado por GPR (*ground penetrating radar*), através de um equipamento que ao emitir ondas eletromagnéticas no solo, deteta diferentes materiais presentes no mesmo. Assim, é possível verificar se o volume do maciço de betão se encontra em conformidade com o projeto original do fabricante da torre, ou se possui volumetria suficiente para suportar a carga máxima instalada na mesma.

Visualmente deve ser verificada a existência de eventual fendilhação anormal, desagregação do betão ou armadura à vista. Relativamente à laje de pavimento, também constituída por betão levemente armado, deve ser verificada a existência de fissuração e/ou assentamentos anormais. Em alguns casos o ensaio com esclerómetro, pode ser estendido à laje de pavimento.

Nas torres onde a zona entre o maciço de fundação e a chapa da base da mesma se encontra preenchida com um *grout* cimentício, conforme visto no capítulo 2, é geral ocorrerem algumas patologias relacionadas com erros na construção da selagem, que posteriormente provocam danos nos chumbadouros e na chapa da base. É fundamental a observação visual, detetando alguma corrosão nos bordos da chapa, bem como alguma fissuração e/ou desagregação da argamassa.



Figura 3.28 – Perno com corrosão e falta de contraporca

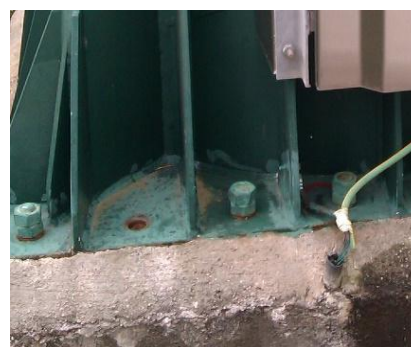


Figura 3.29 – Fratura de um dos pernos do chumbadouro

Relativamente aos pernos dos chumbadouros, visualmente é possível verificar a existência de proteção anticorrosiva, bem como de sistema de aperto correto. Algumas anomalias são detetadas sem recorrer a ensaios específicos, como é o caso apresentado na Figura 3.28, onde se deteta a falta de contraporca e é visível o avançado estado de degradação do varão e do sistema de aperto existente. Já na Figura 3.29, é possível constatar que um dos pernos está em falta, tendo fraturado ao nível da chapa da base.

Assim, de forma a aferir se as ligações se encontram com o momento de aperto adequado, é possível recorrer-se à chave dinamométrica (ver Figura 3.30), de acordo com os valores estipulados no projeto, sendo assim possível também proceder ao seu aperto. No caso de se detetar alguma folga entre o maciço e a chapa da base, ou entre esta e o sistema de aperto, poderá ser executado um ensaio de tração aos chumbadouros (ver Figura 3.31).

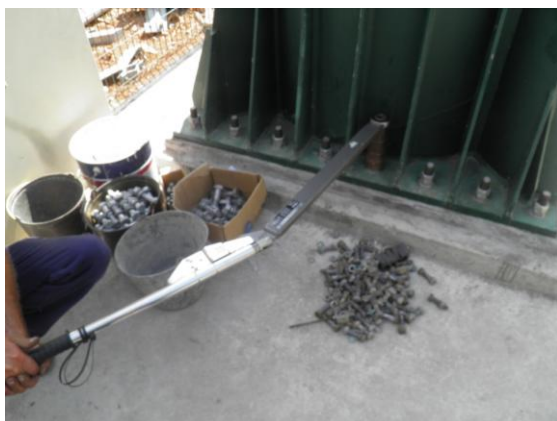


Figura 3.30 – Verificação do momento de aperto do chumbadouro

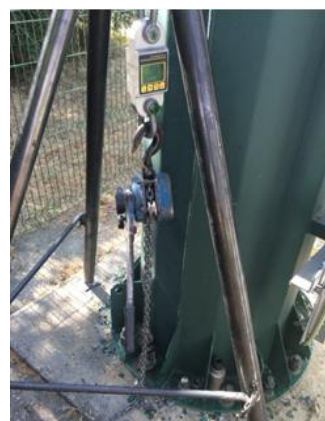


Figura 3.31 – Ensaio de tração ou arranque de chumbadouro

3.4.3. Ensaio geotécnicos

No âmbito da inspeção de uma torre é usual efetuar-se um estudo geotécnico, com vista a caracterizar de forma fidedigna o tipo de solo onde a mesma se encontra instalada, uma vez que a base de dados relativamente à instalação de estruturas mais antigas é muitas vezes escassa.

Os estudos de caracterização geotécnica devem fornecer dados suficientes, relativos ao terreno e à água presente no mesmo, no local da implantação e na sua vizinhança, para uma descrição apropriada das principais propriedades do mesmo. Esta descrição permite uma avaliação fiável dos valores característicos dos parâmetros do terreno a utilizar nos cálculos de projeto.

Deve proceder-se de forma cuidadosa, à recolha, ao registo e à interpretação de informação geotécnica, a qual deve incluir dados relativos à geologia, à morfologia do terreno, à sismicidade, à hidrologia e à história do local. Os solos deverão ser classificados e os estratos devem ser descritos de acordo com um sistema reconhecido de classificação e descrição geotécnica.

Devem ser tidas em consideração as indicações relativas à variabilidade do terreno, uma vez que podem ter influência significativa no comportamento da estrutura. Deve ser verificada a existência de zonas de instabilização que comprometam a integridade estrutural da torre, tais como: taludes, assentamentos uniformes ou diferenciais, descalce do maciço de fundação/laje de pavimento, etc.

Existem diversos ensaios que podem ser realizados *in situ*, de forma a conhecer a maioria dos parâmetros já referidos. Os ensaios mais usuais baseiam-se na utilização de um penetrómetro dinâmico, realizados com equipamentos de diferentes configurações (ligeiros e pesados) e tipos de acionamento variável (manual, pneumático, mecânico).

São ensaios idênticos ao ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), que consistem na cravação contínua de uma ponteira cónica, por ação da queda de um pilão de massa e altura de queda pré-estabelecidas, contabilizando-se o número de quedas/pancadas, para cada intervalo de penetração. As diferenças básicas, comparativamente ao ensaio SPT, residem na substituição do amostrador por uma ponteira cónica, de dimensões padronizadas, cuja secção transversal é de dimensão superior à secção transversal das varas e no facto de o ensaio ser realizado de forma contínua.

Os resultados deste ensaio fornecem informação qualitativa relativamente à resistência à penetração, sendo apresentados em número de pancada vs. profundidade. Podem ainda ser correlacionados com a compacidade ou com a consistência, compressibilidade e resistência ao corte dos solos. Indicam níveis de rocha, estratos resistentes ou cavidades existentes no terreno. São ensaios complementares às sondagens de simples reconhecimento.

3.5. Resumo de patologias

Após a análise dos relatórios que resultam de uma inspeção, é realizado um mapeamento das anomalias detetadas na torre, com o objetivo de proceder às suas correções, conforme será abordado no capítulo 4.

Tipicamente as patologias que as torres apresentam e que foram na sua maioria identificadas nos subcapítulos anteriores, podem ser resumidas e agrupadas, seguindo critérios relativos ao tipo de elemento ou conjunto de elementos analisado, sendo referidas na Tabela 3.1 para melhor entendimento.

Tabela 3.1 – Resumo de patologias por tipos de torres

PATOLOGIAS	TORRES METÁLICAS		TORRES DE BETÃO
	AUTO SUPORTADAS	ESPIADAS	
Anomalia na verticalidade da torre	•	•	•
Oxidação / Corrosão de elementos metálicos estruturais	•	•	
Oxidação dos chumbadouros			
Momento de aperto dos chumbadouros	•	•	
Degradação do maciço de encabeçamento			
Anomalias no revestimento por pintura:			
Pintura não homogénea			
Destacamento de película	•	•	•
Micragem inferior à especificada			
Ausência de balizagem de acordo com CIA [1]			
Degradação do betão:			
Fendilhação			•
Destacamento de betão			
Armaduras expostas			
Armaduras com corrosão			•
Danos na estrutura de suporte de antenas (interfaces):			
Corrosão de perfis metálicos			
Perfis metálicos empenados ou partidos	•	•	•
Corrosão / Ausência de ligações aparafusadas			
Conformidade da escada:			
Ausência de troço de escada			
Troço de escada com deformações / empenas graves	•	•	•
Troço de escada com corrosão acentuada			

Segurança no acesso aos equipamentos:

Falta de acesso à plataforma de trabalhos e interfaces

• • •

Ausência de EPC

EPC sem certificação válida

Ausência de porta anti escalamento

• • •

Fixação de cabos partida / inexistente / corroída

• • •

Ausência de para-raios

• • •

Imperfeições na fixação do para-raios

Ausência de sinalizador luminoso

• • •

Imperfeições na fixação do sinalizador luminoso

4. Conservação de Torres de Telecomunicações

4.1. Considerações iniciais

No seguimento do exposto no capítulo anterior, pretende-se neste capítulo indicar e descrever as ações de correção para a reabilitação e manutenção destas infraestruturas.

Todo o processo de conservação de torres é desenvolvido em duas etapas fundamentais: inspeção da torre e beneficiação da estrutura. Pode ainda considerar-se um terceiro factor, que diz respeito à análise estrutural, que surge cada vez em maior importância dada a constante evolução e alteração que se observa no tipo de equipamentos instalados nestas estruturas. A inspeção e a análise estrutural surgem assim como iterações iniciais ao processo de planeamento da conservação.

Da análise dos relatórios de inspeção é realizado um mapeamento das anomalias da torre, com vista a deliberar sobre a intervenção a efetuar. É atribuída primazia e um estatuto de criticidade a todo o tipo de anomalias estruturais e outras, cuja não resolução possa resultar no prejuízo direto de pessoas e bens. Servem a título de exemplo o colapso de uma torre e a queda de um interface. É assim comum estabelecer-se um plano anual de conservação de torres, além de pequenos trabalhos de reabilitação que são realizados ao longo do ano.

De cada ação de manutenção resulta um relatório final, acompanhado de registo fotográfico, onde são descritas as tarefas executadas, bem como os materiais utilizados e respetivos fabricantes e fichas técnicas. Durante as ações de manutenção deve ser garantido o correto funcionamento dos equipamentos, devendo para o efeito ser convenientemente protegidos, de modo a evitar danos nos mesmos.

4.2. Procedimentos de conservação – Torres metálicas

4.2.1. Elementos metálicos estruturais

As medidas corretivas a implementar ao nível dos elementos estruturais, dependerão não só das anomalias verificadas, mas também das respetivas causas, de forma a ser possível realizar uma intervenção com sucesso, minorando sempre que possível o tempo de corte de serviço.

No caso de ser detetada uma anomalia na verticalidade da torre, torna-se indispensável apurar a (s) causa (s) da mesma, uma vez que cada uma irá exigir uma correção diferente, existindo no limite situações onde a única opção passa pela instalação de uma nova torre.

Caso se conclua que a falha na verticalidade advém de uma anomalia nas ligações entre troços, causadas por erros na montagem ou pelo carregamento excessivo de equipamentos, dependendo da gravidade e da tipologia da torre, poderá existir possibilidade de corrigir a anomalia. Contudo, esta ação deverá, sempre que possível, ser tomada em conjunto com o fabricante da torre, assegurando que daí não advêm prejuízos para a estrutura e que após a correção, se verificam as condições iniciais de projeto, ou as aceitáveis de acordo com as normas em vigor para o correto funcionamento da mesma.

Relativamente às anomalias na verticalidade provocadas por falhas na fundação, os ensaios geotécnicos permitirão esclarecer as causas e as possíveis medidas corretivas a implementar.

Conforme referido, uma das causas mais comuns da ocorrência de danos nas torres metálicas, quer ao nível da verticalidade, quer ao nível dos elementos estruturais, diz respeito ao carregamento excessivo instalado nas mesmas. A crescente evolução tecnológica obriga a que, em muitos casos, exista a necessidade de adicionar mais antenas e outros equipamentos no topo das torres. Esta carga extra irá aumentar o esforço atuante na estrutura, sendo que algumas torres não possuem capacidade para tal.

Procedendo a uma análise estrutural detalhada de cada torre, é possível aferir quais são as zonas da mesma que, com a carga desejada, se encontram solicitadas acima da sua capacidade resistente. De modo a ultrapassar algumas destas questões, e possibilitar a

instalação dos equipamentos pretendidos, são estudadas e projetadas soluções de reforço, tanto para torres tubulares como para torres treliçadas.

No caso de torres tubulares autossuportadas, com ligações aparafusadas entre troços, uma solução de reforço é composta pela instalação de barras metálicas, de dimensões variáveis consoante o troço onde se pretende a instalação, aparafusadas transversalmente ao fuste conforme é visível nas Figura 4.1 a) e Figura 4.1 b). Estas barras apresentam o comprimento necessário para cobrir todas as zonas sobre esforçadas, sendo também aparafusadas às ligações entre troços.

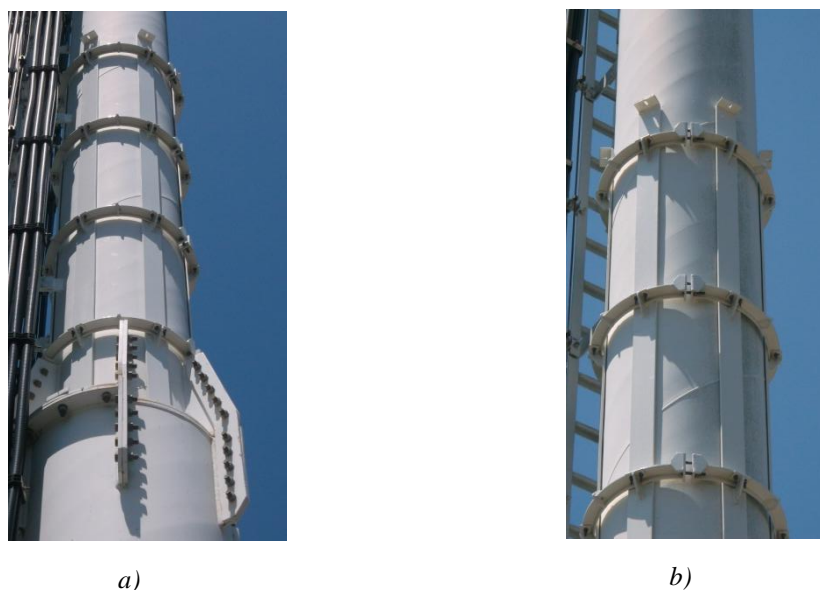


Figura 4.1 – Exemplos de reforços de torres tubulares

Na análise estrutural de torres treliçadas, é possível identificar qual ou quais os elementos que não verificam os critérios mínimos estabelecidos pela regulamentação em vigor, mais concretamente as normas europeias para a análise de estruturas metálicas. Assim, torna-se necessário proceder ao reforço dos montantes, travessas e/ou diagonais. Este reforço é geralmente executado no local e contempla a adição de novas diagonais a determinadas cotas da torre, instaladas perpendicularmente às existentes e tocando-se na interceção, tal como assinalado na Figura 4.2.

No caso de ser necessário executar ligações soldadas nestes elementos, devem ser removidos os troços da torre onde se pretendem executar os reforços, e os mesmos devem ser realizados em estaleiro, incluindo a devida preparação das superfícies metálicas e posterior tratamento (ver subcapítulo 4.2.3).



Figura 4.2 – Exemplo de barra de reforço em torre treliçada

Para as torres treliçadas espiadas, concluindo-se que a mesma não possui capacidade resistente para suportar as ações atuantes, no sentido de incrementar capacidade na estrutura, é possível optar-se pela introdução de um ou mais níveis de espiamento e/ou aumentando o diâmetro das espias.

Nestas torres, existem ainda ações de conservação bastante comuns ao nível dos cabos de aço e respetivos acessórios. Conforme já referido no subcapítulo 3.2.1, a monitorização da tensão existente nos cabos é um fator muito importante para estabilidade da estrutura, pelo que quando se detetam valores não conformes, isto é, que não estão de acordo com o estipulado no projeto da estrutura, os cabos devem ser retensionados.

A importância da monitorização e avaliação da necessidade de intervenção nas espias, prende-se com o facto do valor de tensão não ser estático, ou seja, depende de vários fatores, como a temperatura e a velocidade do vento à hora da medição. Isto é, se for realizada uma medição de manhã e outra medição à noite, no mesmo cabo e sem alteração de carga na torre, é possível obter-se diferentes valores de tensão.

Sendo necessário intervir no sistema de espiamento, têm que ser considerados aspetos importantes na execução desta tarefa, uma vez que, na maioria dos casos, é necessário proceder à desmontagem dos acessórios que fixam o cabo de aço à ancoragem. O processo será executado de forma faseada, por ancoragem ou por nível de fixação de espias à torre, sendo boa prática a instalação de cabos provisórios durante a realização destes trabalhos.

Os elementos metálicos a fornecer, tais como: cabos, sapatilhos, manilhas, esticadores e cerra-cabos, serão em aço galvanizado, de tamanho variável consoante o diâmetro do

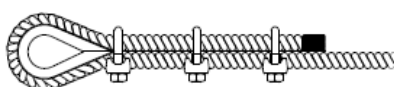
cabo indicado no projeto, salvo no caso das exceções em que se opte pela colocação de elementos em aço inox. Cada um destes elementos terá de ser instalado de acordo com o respetivo fabricante, existindo, contudo, alguns aspetos que devem ser tidos em consideração. Os esticadores deverão ser de olhal fechado, e protegidos através de um primário em forma de pasta, com ação de inibição de corrosão, e uma fita resistente às condições atmosféricas, com o objetivo de evitar o desaperto do esticador. Quanto aos cerra-cabos, deverá ter-se especial atenção à sua correta instalação, tal como mostram as Figura 4.3 a), b) e c), bem como o número de elementos a instalar por cabo Figura 4.3 d), devendo respeitar a EN 13411-5 [11].



a) 1ª etapa



b) 2ª etapa



c) 3ª etapa



d) Exemplo de instalação de cerra-cabos numa espia

Figura 4.3 – Etapas para instalação de três cerra-cabos numa espia

4.2.2. Ligações

Ligações aparafusadas

Após inspeção às ligações aparafusadas existentes, é geral verificar-se uma das seguintes situações: a parafusaria apresenta corrosão e opta-se pela sua substituição, e posterior tratamento anticorrosivo; a parafusaria não apresenta corrosão, no entanto apresenta outras anomalias ao nível do sistema de aperto que necessitam correção.

Caso ocorra a primeira hipótese, deverá proceder-se à substituição de todos os parafusos, porcas e anilhas, com diversos diâmetros, que apresentem corrosão (Figura 4.4 a)), por novos elementos galvanizados por imersão a quente, com diâmetros

idênticos aos existentes, de classe 8.8. Assim, poderá proceder-se à substituição integral das ligações aparafusadas estruturais, ou apenas dos elementos com oxidação ou em falta. Na fase de substituição deverão ser tratadas todas as furações, através de limpeza manual ao grau St 2 (ver Quadro 4.2Quadro 4.1), seguida da aplicação de primário de alta espessura (Figura 4.4 b)), conforme será detalhadamente explicado no subcapítulo referente à proteção anticorrosiva e que se exemplifica nas figuras abaixo, respeitando o tempo de secagem antes da colocação da nova parafusaria (Figura 4.4 c)).

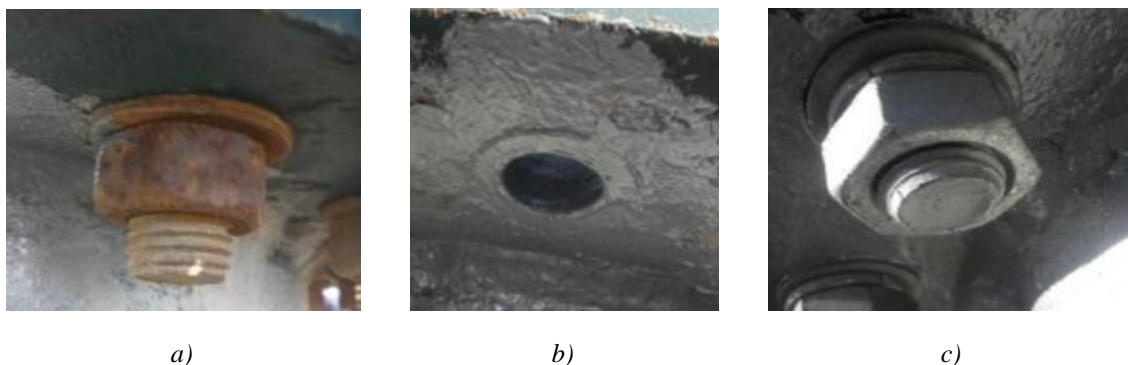


Figura 4.4 – Etapas de substituição de parafuso

No caso de o sistema de aparafusamento ser do tipo anilha simples, i.e., anilha de chapa e porca, então deverá ser colocada porca e contraporca. Se o sistema for de anilha de mola, então deverá ser colocada anilha de chapa, anilha de mola e porca.

Caso sejam detetadas patologias ao nível do aperto da parafusaria, os mesmos deverão ser reapertados com recurso a uma chave dinamométrica, devendo ser verificados os momentos de aperto em todas as ligações. Após a correção, os parafusos, porcas e anilhas deverão ser protegidos através de revestimento por pintura adequado à zona onde se encontra inserida a estrutura.

Deverá ter-se em atenção o comprimento do parafuso a instalar, uma vez que, após ligação e aperto, é recomendável que sobressaia da porca ou contraporca de aperto dois passos de rosca livre, valor que pode alterar consoante o diâmetro e comprimento do parafuso.

Ligações soldadas

Dada a sua complexidade a soldadura é bastante suscetível às condições onde é executada, requerendo também técnicos certificados para a realização dos trabalhos. No entanto estas ligações apresentam vantagens face às ligações aparafusadas, no que diz

respeito à redução do peso da estrutura, uma vez que não necessita de chapas de ligação, e proporcionando ligações mais eficazes quanto à proteção contra a corrosão.

As medidas corretivas de patologias observadas nas soldaduras em torres, dependerão sempre da sua origem, bem como da sua localização (elemento estrutural, escadas, interfaces, entre outros) e deverão ser analisadas por técnicos especializados, recorrendo sempre que possível ao fabricante da torre quando afetar elementos estruturais.

Em ligações soldadas que apresentem corrosão, a superfície deverá ser tratada conforme será abordado no subcapítulo que se segue, sendo aplicado na zona da soldadura, uma tinta primária rica em zinco, antes da aplicação do esquema de pintura preconizado para a torre.

4.2.3. Revestimento por proteção anticorrosiva

O aço não protegido quando em contacto com a atmosfera, a água e o solo está sujeito a corrosão, que pode causar danos estruturais relevantes, pelo que as estruturas de aço são normalmente protegidas por revestimentos. A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, geralmente chamada de “ferrugem” quando visível em metais. Este processo afeta não apenas o aspeto estético do material, mas também a sua resistência mecânica e vida útil.

Existem assim várias formas de proteger o material da corrosão, sendo possível identificar as seguintes:

- Conceção da estrutura
 - Evitando locais de retenção de água e superfícies horizontais;
 - Prever drenagem e ventilação
- Isolando o material do meio envolvente
 - Revestimentos metálicos - galvanização e metalização
 - Revestimentos por pintura
- Atuando sobre o metal
 - Proteção catódica

Neste subcapítulo pretende-se desenvolver a proteção dos elementos através da aplicação de tintas, fazendo uma breve nota introdutória sobre a galvanização por imersão a quente, uma vez que são os revestimentos mais utilizados na instalação e

manutenção do tipo de infraestruturas metálicas em estudo. Antes de aplicar o revestimento por pintura, é necessário conhecer: a localização geográfica da estrutura; o estado inicial da superfície a tratar; o grau de preparação da superfície; o tipo de tinta a aplicar, incluindo o número de camadas e respetiva espessura.

A galvanização por imersão a quente, doravante somente galvanização, é um tipo de revestimento metálico de estruturas de aço, à base de zinco, que confere uma elevada resistência à corrosão e durabilidade através da ligação química que se estabelece entre o zinco e o ferro. Este revestimento é constituído por diversas camadas da ligação Fe-Zn, de espessura variável, sendo envolvido no exterior por uma película macia de zinco que funciona como uma barreira protetora muito resistente à abrasão, uma vez que o zinco é um metal menos nobre que o ferro, e por isso apresenta menor velocidade de corrosão.

A norma portuguesa NP EN ISO 1461 [12] estabelece assim os valores mínimos de espessura do revestimento de zinco, em função do tipo de elemento e respetiva geometria e espessura. No caso das torres de telecomunicações, é de forma geral imposto pelo operador no caderno de encargos, que todas os elementos metálicos a instalar - torre metálica, escada, interfaces, suportes metálicos, entre outros, possuam uma espessura de galvanização mínima de 80 μm , tendo sempre em consideração a espessura do elemento, respeitando a referida norma.

A durabilidade do revestimento por galvanização, ou seja, o tempo mínimo ou máximo até à primeira ação de manutenção, dependerá da espessura do revestimento de zinco, bem como de outros fatores, como a categoria de corrosividade onde o mesmo se insere.

Dado que os mecanismos de corrosão do aço no ar, em água e no solo são distintos, as normas ISO 9223 [13] e NP EN ISO 12944-2 [14] classificam os vários ambientes atmosféricos de exposição em função do seu grau de corrosividade, conforme exposto no Quadro 4.1 para exemplos de ambientes típicos exteriores, onde se encontram instaladas as torres em estudo.

Quadro 4.1 – Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes, [14]

Categorias de corrosividade	Perda de espessura de zinco ($\mu\text{m}/\text{ano}$)	Exemplos de ambientes (Exterior)
C1 muito baixa	$\leq 0,1$	-
C2 baixa	$> 0,3$ a $0,7$	Atmosfera com baixo nível de poluição. Principalmente áreas rurais
C3 média	$> 0,7$ a $2,1$	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada de dióxido de enxofre. Áreas costeiras com baixa salinidade
C4 alta	$> 2,1$ a $4,2$	Zonas industriais e áreas costeiras de alta salinidade.
C5-I muito alta (industrial)	$> 4,2$ a $8,4$	Áreas industriais com humidade elevada e atmosfera agressiva.
C5-M muito alta (marítima)	$> 4,2$ a $8,4$	Áreas costeiras e "offshore" com alta salinidade.

A informação presente nesta tabela não reflete exposições específicas de natureza química, mecânica ou de temperatura. Contudo, a classificação indicada pelas normas pode ser aceite como um bom indicador que deve ser tido em consideração na seleção de um sistema de pintura para um determinado projeto. O mapa nacional de corrosão atmosférica pode ser consultado na página da internet do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

A galvanização apresenta, no entanto, limitações relacionadas com a dimensão das peças e consequentemente com a dimensão do banho, sendo que no caso das torres metálicas, uma vez que são constituídos por troços, esta desvantagem consegue ser ultrapassada na maioria das vezes.

De modo a ser possível especificar um esquema de pintura adequado é necessário conhecer o material onde o mesmo será aplicado. A preparação da superfície, os produtos a aplicar (em especial o primário) e a espessura total do esquema, dependerão principalmente do material que se pretende proteger e da sua localização geográfica.

De um modo geral, nas torres de telecomunicações, podemos verificar uma das seguintes condições iniciais: a) estruturas de aço galvanizadas, sem pintura anterior; b) estruturas de aço revestidas com esquema de pintura, aplicado em estaleiro ou em obra, que necessita de manutenção; c) elementos novos galvanizados, a instalar em estruturas existentes.

As estruturas de aço com revestimento metálico, que nunca antes tenham sido revestidas por pintura, podem encontrar-se cobertas em maior ou menor escala, por ferrugem, calamina ou outros contaminantes (poeiras, gorduras, sais solúveis, resíduos, entre outros). Caso se verifique a necessidade de remover na totalidade o revestimento metálico, devido ao avançado estado de degradação, estas superfícies devem ser preparadas na sua totalidade (preparação primária) segundo os graus definidos nas normas ISO 8501-1 [15] e NP EN ISO 12944-4 [16]. Caso existam zonas sãs deste revestimento, deverá ser efetuada uma preparação secundária da superfície, definida também em [16].

No caso de estruturas já revestidas com pintura, é muito importante a avaliação do estado em que se encontra a superfície das mesmas, determinando-se o grau de degradação e procedendo à avaliação da necessidade de remover o anterior sistema na sua totalidade, ou apenas em parte. Esta avaliação deverá ser feita de acordo com as partes 1 a 6 da NP EN ISO 4628 [17], quanto ao grau de empolamento, enferrujamento, fissuração, exfoliação e pulverulência, respetivamente. A avaliação da aderência do revestimento deverá também ser considerada, segundo os ensaios referidos em [5], bem como a avaliação da corrosão sob a película. Existindo a necessidade de se remover na totalidade o revestimento até ao substrato, a superfície será preparada conforme referido para o caso anterior, sem revestimento. Caso seja necessário remover toda a tinta até ao galvanizado, deverá ser efetuada uma preparação de superfície secundária.

Nas estruturas em estudo são geralmente aplicados os graus de preparação primária, efetuando-se um tratamento total da superfície, conforme indicado no Quadro 4.2.

A norma ISO 8501-1 [15] contém exemplos fotográficos que ilustram a alteração do aspeto do aço quando decapado com diferentes abrasivos, pelos diversos métodos. A norma ISO 8501-2 [18] especifica graus de preparação de substratos anteriormente pintados, no seguimento da remoção parcial localizada da pintura antiga, identificando os graus indicados no Quadro 4.2 precedidos da letra P, por exemplo, grau P St 2.

Quadro 4.2 – Graus de preparação primária de superfície, Anexo A [16]

Grau	Observações
<u>Decapagem por projeção de abrasivos</u>	
Sa 1	Decapagem ligeira por projeção de abrasivos
Sa 2	Decapagem cuidada por projeção de abrasivos
Sa 2^{1/2}	Decapagem muito cuidada por projeção de abrasivos
Sa 3	Decapagem por projeção de abrasivos até aço visualmente limpo
<u>Limpeza manual ou mecânica</u>	
St 2	Limpeza cuidada
St 3	Limpeza muito cuidada

Após a avaliação do estado inicial da superfície a tratar, bem como do grau de preparação da mesma, a escolha do esquema de pintura deverá também basear-se na durabilidade pretendida para o mesmo, de modo a oferecer a proteção desejada, no ambiente corrosivo onde se encontra a estrutura. A NP EN ISO 12944-1 [19] estabelece três intervalos de tempo para classificar a durabilidade do esquema de pintura a aplicar, com base no tempo de vida esperado, ou seja, no período que medeia entre a aplicação e a verificação da necessidade de uma grande manutenção por repintura, a saber:

- Baixa (B) – 2 a 5 anos;
- Média (M) – 5 a 15 anos;
- Alta (A) – mais de 15 anos.

Esta divisão além da auxiliar na especificação do sistema a aplicar, permite também ao proprietário da infraestrutura, estabelecer um plano de manutenção geral. Contudo, este fator está também relacionado com as condições de aplicação, sendo suscetível de erros, pelo que devem ser adotados procedimentos adequados de controlo de qualidade.

No caso das torres metálicas revestidas com esquema de pintura que necessita de manutenção, é ainda necessário conhecer as principais características físicas, químicas e mecânicas do sistema de pintura existente, de modo a considerar a compatibilidade entre este e a pintura a aplicar.

A proteção contra a corrosão das estruturas metálicas é assim assegurada pela aplicação de várias camadas de tinta, cada uma delas com um papel específico, apresentando diversas características, tais como: boa aderência; fácil aplicabilidade; permitir proteger estruturas com dimensões consideráveis; boa impermeabilidade; acabamento com diversas cores possíveis; e outras propriedades que possam ser exigidas.

A tinta é normalmente constituída por pigmentos, ligante, solventes e aditivos, sendo a sua classificação geralmente feita pelo nome do seu ligante, ou seja, tinta epoxídica, tinta de poliuretano, tinta acrílica e tinta alquídica.

As camadas de tinta devem apresentar diferentes cores, de modo a facilitar a sua identificação, sendo definidas pela ordem de aplicação no elemento a tratar, nomeadamente: a camada de primário – 1ª camada, a (s) camada (s) intermédia (s) - camada entre primário e acabamento, e a camada de acabamento – camada final.

Em obras de manutenção, a 1ª camada de primário é usualmente aplicada de forma pontual, diretamente sobre a superfície metálica previamente preparada, nas zonas com substrato à vista, composto por uma tinta epoxídica de alta espessura. Esta tinta deve apresentar um intervalo de recobertura mais baixo, e recomenda-se a sua aplicação na cor de alumínio, uma vez que nesta cor o produto tem uma função anticorrosiva acentuada, influenciada pelo pigmento metálico de alumínio.

A camada intermediária, ou 1ª demão geral, tem como finalidade promover a aderência do esquema de pintura ao substrato e contém normalmente inibidores de corrosão. Tratam-se geralmente de tintas epoxídicas, semibrilhantes ou foscas, que conferem maior impermeabilidade à água e ao oxigénio, devido ao teor de pigmentos e cargas, embora não sejam indicadas para exposição à intempérie. Conferem espessura ao esquema total e recomenda-se que sejam aplicadas numa cor base, como branco ou cinza claro, pois servirão muitas vezes de base à aplicação de cores diferentes, separadas por estratos.

Na camada de acabamento, ou 2ª demão geral, aplicam-se comumente tintas poliuretânicas, com elevada resistência superficial (radiação, abrasão, impacto, ação química, fungos, entre outros), compatíveis com primários epoxídicos. Esta tinta auxilia na proteção por barreira, fornecendo espessura ao sistema e protegendo-o contra o meio ambiente, dando a cor e o brilho adequados. As tintas acrílicas são também indicadas

para pinturas de acabamento, pela sua grande resistência à ação do sol. A camada de acabamento é aplicada nas cores de projeto, que devem ser definidas *à priori* nas especificações técnicas do concurso. No caso das torres existentes no território nacional, estas cores podem variar entre o branco, verde ou cinza. No entanto deverá, sempre que necessário conforme circular de informação aeronáutica [1], ser considerada a demão final, composta por listas de cores branco e vermelho.

Assim, a EN ISO 12944-5 [20] estabelece orientações na identificação e seleção dos esquemas de pintura mais adequados, destinados à proteção de diferentes tipos de aço, de acordo com a corrosividade do ambiente e durabilidade requerida.

Relativamente ao esquema de pintura a adotar nas torres de telecomunicações metálicas, apresentam-se de seguida algumas opções, divididas com base nas categorias de corrosividade atmosférica observadas em Portugal. Na Tabela 4.1, apresentam-se as espessuras de película seca (EPS) de possíveis soluções para cada categoria de corrosividade, considerando uma durabilidade média do esquema de pintura a aplicar.

Tabela 4.1 – Exemplos de esquemas de pintura para diferentes categorias de corrosividade atmosférica

Categoria	Tipo de tinta	Nº de demãos	EPS (µm)
C2	Primário epoxido	1	80
	Esmalte poliuretano	1	80
		2	160
C3	Primário epoxido	1	100
	Esmalte poliuretano	1	60
		2	160
C4	Primário epoxido	1	60
	Intermédio epoxido	1	80
	Esmalte poliuretano	1	60
		3	200
> C5	Primário epoxido	1	80
	Intermédio epoxido	1	80
	Esmalte poliuretano	1	80
		3	240

Nas ilhas e ambientes mais agressivos (> C4), os esquemas de pintura a aplicar diferem devido à necessidade de maior proteção pelo facto das infraestruturas se localizarem em ambientes mais propícios a originar pontos de corrosão.

Sempre que possível devem ser selecionadas tintas que exibam uma fácil aplicação, dada a necessidade da execução dos trabalhos de pintura em altura e muitas vezes em rapel, e que possam ser aplicadas em condições ambientais adversas. O sucesso do esquema de pintura aplicado dependerá assim das condições de aplicação conforme já referido, bem como do uso de métodos de aplicação apropriados, pelo que os mesmos deverão ser objeto de controlo. Durante a aplicação do sistema escolhido, deve ser realizado um registo adequado e detalhado das várias aplicações de revestimento, incluindo tabelas com indicação das espessuras de película seca por cada camada aplicada. Esta informação é importante para avaliar possíveis falhas prematuras do sistema de proteção ou qualquer outro problema relativamente à sua aplicação ou desempenho, além de ser uma ferramenta importante na seleção futura de revestimentos de proteção adequados. Devem ser respeitados os tempos de secagem/cura entre demãos, bem como outras especificações definidas pelo fabricante.

Na manutenção das torres de telecomunicações o esquema de pintura é aplicado *in situ*, pelo que, tanto nas estruturas tubulares como nas treliçadas, a aplicação da tinta deverá ser efetuada de forma manual, através de trincha e/ou rolo. A pintura com pistola apenas é aconselhada em estufa.

Importa referir que a seleção de um esquema de pintura deve também ser baseada na experiência da sua utilização em casos semelhantes, existindo por isso diversas soluções de esquemas de pintura, previamente tipificados pelos fabricantes.

4.3. Procedimentos de conservação – Torres de betão

Conforme já referido neste trabalho, o betão apresenta-se como um material com maior índice de durabilidade face ao aço, quando expostos a ambientes agressivos, desde que convenientemente monitorizado. É, no entanto, importante referir que embora sendo durável, não significa que seja de duração infinita, e que se possa atribuir menor importância à manutenção de estruturas de betão.

A durabilidade destas estruturas, mais concretamente neste caso, de torres de betão armado, depende de vários fatores:

- Qualidade do betão / Componentes da pasta de cimento - a qualidade do betão é função da sua composição, compactação e cura, e determina a resistência à penetração dos sulfatos;
- Porosidade do betão - a durabilidade de estruturas sujeitas a ambientes agressivos é condicionada pela resistência do betão à penetração das substâncias que originam os mecanismos de deterioração. Porém a porosidade do betão não é sinónimo de permeabilidade sendo esta última influenciada pela razão água/cimento utilizada na argamassa e pelo grau de hidratação do cimento. Quanto maior a quantidade de cimento, menor será a permeabilidade do betão, por outro lado deverá haver água suficiente para a hidratação de todas as partículas do ligante;
- Espessura do recobrimento de armaduras - a espessura do recobrimento aparece como uma barreira física à penetração dos agentes agressivos no betão;
- Sistema de proteção superficial – a aplicação de tintas, vernizes ou outros produtos nas superfícies de betão, pode contribuir para a melhoria da durabilidade das estruturas.

As especificações para a reparação e proteção de betão podem ser definidas com base nos requisitos das partes 2 a 7 da NP EN 1504 [21], tendo em consideração não só o desempenho da estrutura a longo prazo, mas também o efeito dos materiais selecionados na restante estrutura (interfaces, escadas, etc.) e equipamentos.

4.3.1. Conservação de elementos de betão armado

A conservação das torres de betão armado dependerá, tal como em outras infraestruturas, do estado de conservação inicial, ou seja, a intervenção será mais profunda caso se verifique um elevado estado de degradação das superfícies. Caso se verifique a perda de capacidade de carga do elemento estrutural de betão, poderá existir a necessidade de proceder ao seu reforço, para aumentar ou estabelecer a mesma, através da adição de armaduras ou colagem de elementos de reforço.

As superfícies em betão armado a tratar, serão previamente lavadas a jato de água doce a alta pressão, para remoção de todos os revestimentos, substâncias indesejáveis e materiais fracos e desagregados. Posteriormente, devem ser identificadas e marcadas as superfícies com sinais evidentes de degradação, tais como: fissuração, betão delaminado

com ocorrência de material ferroso, varões das armaduras à vista com ou sem corrosão e ausência de recobrimento.

O tratamento das zonas degradadas consiste no saneamento do betão, com remoção dos recobrimentos envolventes das armaduras, à vista e com corrosão, seguida de escovagem de todos os varões (Figura 4.5) e aplicação de revestimento de proteção anticorrosiva nos mesmos, promovendo também a aderência destes à nova argamassa, conforme indicado na NP EN 1504-7 [22]. Após o tratamento das armaduras, a reposição do recobrimento deverá ser efetuada com recurso a argamassas de reparação não retrácteis (Figura 4.6), de aplicação manual. Na NP EN 1504-3 [23] são definidas as características de desempenho dos diversos produtos e sistemas de reparação estrutural e não estrutural.



Figura 4.5 – Escovagem de varões após remoção de betão desagregado



Figura 4.6 – Aplicação de argamassa

De modo a prolongar o tempo de vida útil da estrutura, bem como a sua durabilidade e proteção a longo prazo, poderá ser aplicada nas superfícies de betão armado como impregnação, quer nas áreas em que o aço já está corroído, quer nas áreas em que o aço está em risco de ser corroído pela exposição aos ambientes atmosféricos, uma emulsão com propriedades inibidoras de corrosão, protegendo assim também as armaduras internas.

4.3.2. Revestimento superficial

A ação dos revestimentos - tratamento que produz uma camada protetora contínua à superfície, baseia-se em mecanismos físicos ou químicos que restringem ou estabilizam

os processos, físicos ou químicos, de degradação do betão ou das armaduras. Estes produtos são atualmente objeto da NP EN 1504-2 [10], em que se especificam as características a avaliar e os respetivos valores mínimos, conforme o objetivo da utilização dos mesmos. No entanto, cabe ao projetista especificar ou exigir alguma característica que pretenda que o produto possua.

No caso do betão armado, são relevantes como agentes de degradação o dióxido de carbono e os iões cloreto, uma vez que a carbonatação do betão ou a presença de iões cloreto conduzem à corrosão das armaduras. O revestimento deve possuir capacidade para acompanhar a fissuração do suporte.

Após a reparação dos elementos estruturais de betão, é boa prática a utilização de uma pintura de acabamento e proteção contra os agentes agressivos, através da aplicação de uma tinta primária, baseada em resina acrílica, que possua boas propriedades de impregnação, selagem e fixação de substratos porosos. Esta resina servirá de preparação, antes da aplicação das duas ou três demãos de tinta de secagem física de alta espessura, ligeiramente contrastante entre as várias camadas, com uma espessura final não inferior a 225 μm .

Quanto à cor final, é usual aplicar-se a cor cinza clara, tendo em consideração também nas torres de betão, sempre que necessário conforme circular de informação aeronáutica [1], ser aplicado o sistema de balizagem diurno composto por faixas vermelhas e brancas, tal como nas torres metálicas.

4.4. Procedimentos de conservação – aspetos gerais

4.4.1. Conformidade dos elementos não estruturais

Os elementos não estruturais que apresentem patologias devem também ser alvo de medidas corretivas, uma vez que deles depende a correta prestação do serviço para o qual a torre foi instalada, bem como o nível de segurança de pessoas e bens, quer no acesso aos equipamentos, quer em situação de colapso da estrutura.

Os elementos metálicos referidos neste subcapítulo, são geralmente instalados com revestimento metálico, ou seja, protegidos por galvanização, com espessura mínima de 80 μm . No entanto, quando se procede à beneficiação dos elementos estruturais, quer sejam metálicos ou de betão, deve também proceder-se ao tratamento e proteção destes

elementos, através da preparação da superfície e pintura, com o esquema selecionado para a estrutura, em cor a definir no caderno de encargos (conforme explanado no subcapítulo 4.2.3).

Relativamente às escadas, dependendo da anomalia existente, podem surgir diversos trabalhos de correção. No exemplo visível na Figura 4.7, é possível observar a existência de um degrau empenado, pelo que se procede à substituição do troço de escada, sendo necessário garantir que o troço a instalar possua igual sistema de fixação à torre e aos troços de escada adjacentes.



Figura 4.7 – Exemplo de degrau empenado



Figura 4.8 – Degrau de escada com perda de secção devido a corrosão

Deverá também proceder-se à substituição de um ou mais troços de escada, sempre que os elementos metálicos apresentem um estado avançado de degradação devido à corrosão, podendo existir perda de secção nos mesmos, como no exemplo da Figura 4.8, colocando em risco a segurança do utilizador. Comumente é possível observar-se alguma corrosão nos parafusos, anilhas e porcas, que constituem as ligações escada/escada e escada/torre, devendo proceder-se à sua substituição, por novos elementos galvanizados de classe mínima 8.8. As furações deverão ser tratadas com primário rico em zinco, e caso se proceda à pintura da torre e conseqüentemente da escada, o processo de substituição da parafusaria deverá ser executado antes da mesma, de modo a aplicar também o tratamento anticorrosivo nos novos elementos.

É também comum proceder-se à instalação porta anti escalamto na base da torre, impedindo o acesso à escada e ao topo da mesma, de pessoas não autorizadas.

A beneficiação e/ou substituição de interfaces representa uma enorme percentagem dos trabalhos realizados atualmente em torres de telecomunicações, devido sobretudo à intenção de reduzir a carga aplicada na torre, e consequência também do surgimento de novas tecnologias, que obrigam à fixação de novos equipamentos de dimensões variáveis.

Quanto aos diversos interfaces instalados nas torres de telecomunicações, é bastante usual verificar-se a necessidade de se proceder à substituição da parafusaria e respetivos elementos de aperto, uma vez que apresentam corrosão, e proceder-se ao tratamento anticorrosivo.

Nos casos em que não seja viável o seu tratamento, como por exemplo a plataforma da Figura 4.9 e o varandim da Figura 4.10, os elementos devem ser substituídos por novos de igual geometria ou dimensão, exceto quando exista a necessidade de reduzir carga na torre e seja possível instalar uma plataforma ou interface mais aleigeirado.

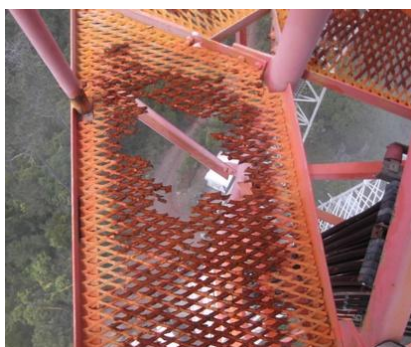


Figura 4.9 – Exemplo de plataforma degradada



Figura 4.10 – Exemplo de varandim com perda de secção

No seguimento do que já foi referido, no que diz respeito à evolução tecnológica, surgem casos onde se procede à substituição do sistema de antenas instalado, onde é possível reduzir o número de antenas e consequentemente o número e tamanho dos interfaces que os suportam. Com o objetivo principal de tornar as soluções mais *clean* aliviando carga na torre, de permitir o acesso em segurança a todos os equipamentos, garantindo o seu correto funcionamento, executam-se trabalhos de remoção dos cabeços triangulares e braços de afastamento, e instalação de novos interfaces mais próximos do fuste da torre, reduzindo assim a área de exposição ao vento. Existem inúmeras soluções, sendo necessário avaliar caso a caso em conjunto com as equipas de planeamento de rede, uma vez que as direções das antenas e a sua cota de instalação variam, e consecutivamente os interfaces para as suportar também. Na Figura 4.11 é

possível observar a reabilitação executada numa torre em Évora, que contemplou a remoção das seis antenas e dos braços de afastamento instalados acima e abaixo da plataforma, e a instalação de apenas três antenas, fixas superiormente à plataforma existente e inferiormente a uma nova plataforma aligeirada (sem varandim).



a) Antes



b) Depois

Figura 4.11 – Antes e depois da reengenharia executada numa torre tubular

4.4.2. Maciços de betão e chumbadouros

Sempre que se constatarem anomalias ao nível dos maciços de encabeçamento, isto é, no espaço entre a fundação de betão e a chapa da base, onde se encontram as porcas de nivelamento e os pernos dos chumbadouros, designadamente zonas com sinais evidentes de alguma degradação da argamassa e exposição e/ou corrosão dos varões à vista, as mesmas deverão ser corrigidas (Figura 4.12).

A argamassa cimentícia que preenche este espaço deverá ser removida, procedendo-se à preparação das superfícies metálicas, através de limpeza e escovagem da chapa da base, dos varões dos chumbadouros e porcas de nivelamento, conforme é visível a título exemplificativo na Figura 4.13. Posteriormente, deverá ser aplicado um primário anticorrosivo rico em zinco, em todos os elementos metálicos na envolvente do chumbador e na zona inferior e lateral da chapa da base. Habitualmente são instalados canais de drenagem nos quatro lados do novo maciço, em tubo PVC com 1 cm de diâmetro. Para finalizar, é preenchida novamente a zona com uma argamassa monocomponente de retração compensada, à base de cimento, preferencialmente isenta de cloretos e partículas magnéticas, protegendo as partes metálicas contra a corrosão, de acordo com as especificações do fabricante escolhido, tendo em consideração a altura

de enchimento, de modo a selecionar o melhor produto a aplicar. Esta argamassa deverá também apresentar boa resistência mecânica, tirando partido desta característica de modo a resistir aos elevados esforços de dimensionamento nessa zona da estrutura, além de prevenir o desaperto das porcas e evitar problemas de flexão e de empenamento da chapa, conforme também já referido no subcapítulo 2.1.1.

Caso sejam visíveis anomalias ao nível dos pernos dos chumbadouros, mais especificamente quanto ao seu aperto e/ou proteção anticorrosiva, deverão ser substituídos todos os elementos metálicos, ou seja, novas anilhas, porcas e contraporcas, de classe 8.8 no mínimo e de igual diâmetro aos existentes, salvo indicação em contrário no projeto, em aço galvanizado.

As porcas e contraporcas deverão ser apertadas com recurso a chave dinamométrica, conforme se observa na Figura 4.14, tendo em consideração os valores indicados no projeto para a classe e tamanho dos elementos.



Figura 4.12 – Anomalia em maciço de encabeçamento



Figura 4.13 – Escovagem dos varões dos chumbadouros

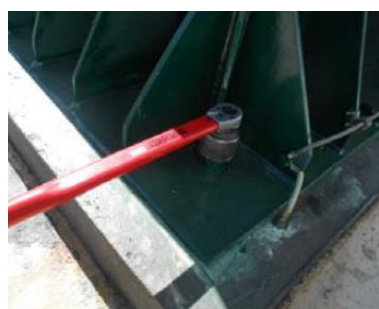


Figura 4.14 – Verificação do aperto das porcas e contraporcas do chumbadouro

Existe ainda a possibilidade de aplicação de acabamento e proteção do maciço contra os agentes atmosféricos, nas zonas mais agressivas, através da pintura do mesmo com duas demãos de tinta acrílica, de cor a definir pelo operador.

5. Casos de Estudo

5.1. Considerações iniciais

No presente capítulo pretende-se evidenciar casos reais que resultem da aplicação do que foi abordado nos capítulos 3 e 4, mais concretamente sobre as tarefas de inspeção e conservação de torres de telecomunicações.

Os dois casos de estudo escolhidos incidiram sobre duas estruturas de diferentes tipologias, uma torre tubular metálica e um poste de secção H em betão armado, situadas em locais geograficamente distintos. Apresentam, cada uma, as suas patologias, bem como medidas corretivas que foram tomadas para a correção das mesmas, existindo como também já vimos anteriormente, aspetos que são comuns às várias estruturas.

Pretende-se assim ter uma visão mais pormenorizada do que é realizado atualmente pelos diversos operadores de telecomunicações nas suas infraestruturas, ao nível da beneficiação de torres.

5.2. Torre metálica - Canas de Senhorim

Para o caso de estudo referente a uma estrutura metálica, selecionou-se uma torre tubular poligonal de 40.0 m de altura nominal acima do solo (ver Figura 5.1 a)), localizada geograficamente na freguesia de Canas de Senhorim, concelho de Nelas, distrito de Viseu.

É constituída por um fuste de formato troncocónico, composta por troços cuja secção transversal apresenta dezasseis faces em chapa quinada unida por soldadura. O comprimento de cada um dos seis troços é variável bem como os seus diâmetros e espessuras, conforme se pode constatar pela Tabela 5.1 onde são apresentados os valores teóricos, sendo a sua união feita por encaixe e posterior soldadura. Este tipo de união funciona por atrito entre as secções metálicas, e consiste na sobreposição da parte inferior de um troço (secção fêmea) sobre a parte superior do elemento anterior (secção macho). O fabricante define que o comprimento de sobreposição deverá ser igual a 1.5

vezes o diâmetro da secção fêmea, sendo por isso necessário garantir o contacto perfeito das paredes antes de efetuar o acoplamento das mesmas.

Tabela 5.1 – Dimensões teóricas da torre de Canas de Senhorim

Troço	D _{base} (mm)	D _{topo} (mm)	Espessura (mm)	Comprimento (mm)
1 (base)	1304	1173	8	7320
2	1173	1044	8	7900
3	1044	897	6	7900
4	897	739	5	7900
5	739	569	4	7900
6 (topo)	569	400	4	7900

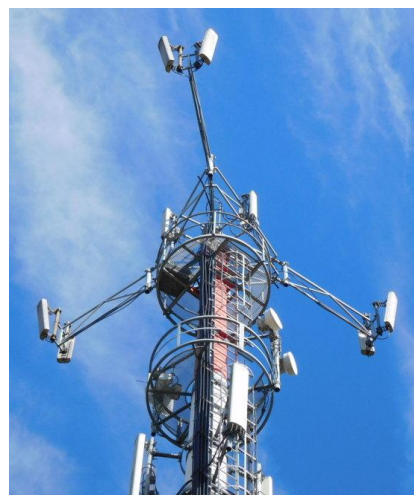
A torre encontra-se fixa a uma fundação de betão armado de dimensões de projeto de 2.0 x 2.0 x 5.7 m³ (L x C x A), através de flange, aparafusada aos dezasseis chumbadouros por meio de porca de nivelamento, porca e contraporca. A chapa da base apresenta uma configuração aproximadamente circular.

É equipada por escada metálica em todo o seu comprimento, exceto no troço inicial, composta por guarda corpos e caminho vertical para fixação de cabos, ou seja, cantoneiras laterais à escada com espaçamento de aproximadamente 0.60 m em toda a altura onde é fixa a cablagem. Possui também para-raios e sinalizador luminoso de duas lâmpadas, instalados aos 40.0 m.

No seu topo tem também instalado uma plataforma circular e um interface tipo cabeço triangular, que serve de suporte a nove antenas de 1.30 m de altura. Aos 37 m existe outra plataforma circular onde se encontram três antenas tipo *links* de diâmetro 0.6 m. Existem ainda três antenas de 2.0 m de altura instaladas ao fuste da torre através de abraçadeiras metálicas e braços de fixação, aos 33 m de altura, de outro operador, conforme é visível na Figura 5.1 b).



a) Vista geral da torre



b) Interfaces e equipamentos instalados

Figura 5.1 – Torre de Canas de Senhorim

5.2.1. Identificação das patologias

No âmbito de uma intervenção ao nível dos equipamentos radiantes, foi detetada visualmente uma falha na verticalidade da estrutura, conforme se pode observar na Figura 5.2.



Figura 5.2 – Desvio verticalidade da torre Canas de Senhorim

Com o principal objetivo de estudar a viabilidade da continuação em serviço da estrutura, mas também identificar as causas da falha na verticalidade, foram realizados diversos ensaios e relatórios que se pretende referir neste subcapítulo.

Primeiramente foi realizada uma inspeção visual, seguindo-se a inspeção técnica com recurso a vários equipamentos, incluindo as seguintes tarefas:

- Ensaio geotécnico;
- Levantamento dimensional do maciço de fundação;
- Levantamento topográfico da superfície horizontal do maciço de fundação;
- Levantamento da verticalidade da torre;
- Levantamento dimensional dos troços da torre.

Ao nível da inspeção visual foram detetadas anomalias, relacionadas com o tratamento anticorrosivo da torre bem como fissuração acentuada na laje de pavimento, demonstrando cedência e instabilidade do terreno, como é visível na Figura 5.3.

Detetou-se ainda a falta de troço de escada inicial e também de porta anti escalamento (ver Figura 5.4), incluindo diversa parafusaria das ligações da escada com oxidação.



Figura 5.3 – Anomalias na pintura da torre e fissuração grave na laje



Figura 5.4 – Falta de troço de escada inicial e porta anti escalamento

Por forma a efetuar-se o reconhecimento e estudo geotécnico do local de implantação da torre, foi realizada uma sondagem penetrométrica dinâmica superpesada (DPSH), que consistiu na penetração de uma série de varas, no início das quais existe um cone com 50.5 mm de diâmetro. O ensaio foi realizado numa zona afastada cerca de 1.0 m da base da torre, a uma cota 0.5 m inferior à mesma, conforme se pode observar na Figura 5.5, tendo terminado aos 8.6 m de profundidade.

Desta sondagem, e com base no enquadramento geológico da região, bem como pela verificação no local durante o ensaio, foi possível afirmar que a estação se encontra possivelmente inserida numa camada de aterros compostos por siltes arenoargilosos,

com aproximadamente 8.0 m de espessura (Figura 5.6), sobre uma camada de solos residuais de granito e mais profundamente o maciço granítico alterado.



Figura 5.5 – Localização da sondagem efetuada



Figura 5.6 – Vista do aterro onde se encontra implantada a estação

Da análise dos gráficos, constatou-se que até aos 8.6 m os solos apresentam uma tensão admissível muito baixa, possuindo fracas características geotécnicas para a implantação de fundações diretas, como é o caso da sapata de betão armado existente.

Para a verificação dos limites da fundação, foi necessária a remoção parcial e pontual da laje de pavimento junto ao maciço (Figura 5.7), onde se verificou a existência de aglomerado de pedras graníticas imediatamente abaixo do maciço de betão – ver Figura 5.8.



Figura 5.7 – Remoção de laje junto ao maciço de fundação



Figura 5.8 – Pedras graníticas sobre o maciço de fundação da torre

De forma complementar, para apurar a profundidade do maciço, foi executado um ensaio designado por impacto-eco, obtendo-se uma dimensão de 2.06 x 2.06 x 5.94 m³ (L x C x A). Importa referir que estes valores podem apresentar um erro de aproximadamente 5%, pelo que a altura real do maciço poderá estar compreendida entre os 5.64 m e os 6.23 m.

Com recurso a um equipamento designado estação total, obtiveram-se as cotas da superfície do maciço de fundação, através da marcação de uma malha $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$. Foi considerado um dos vértices da superfície com uma cota de referência (ponto A), tendo-se obtido as cotas de nível relativas dos restantes pontos marcados, constatando-se um desvio máximo de 24.0 mm na direção x e 8.0 mm na direção y, conforme esquema da Figura 5.9, constatando-se que o maciço apresenta uma pendente mais acentuada no sentido do ponto D.

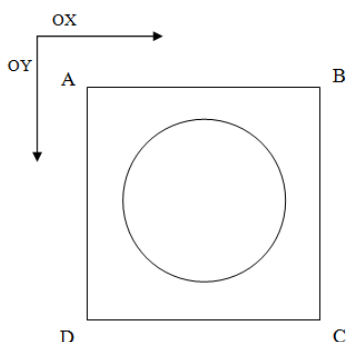


Figura 5.9 – Esquema de levantamento topográfico das cotas da superfície do maciço de fundação

Com a utilização do mesmo equipamento, foi realizado o levantamento da verticalidade da torre, de modo a aferir o desvio no topo da mesma, relativamente à sua base, tendo em consideração velocidades de vento inferiores a 5 m/s. Para este ensaio, foi considerado como pressuposto inicial que a base da torre não teria sofrido qualquer desnivelamento, de forma a conseguir-se os desvios reais entre as uniões do fuste da torre, tendo sido registados os valores indicados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Desvios relativos reais entre uniões de troços da torre

União	Eixo X (mm)	Eixo Y (mm)	Eixo Z (mm)
Base	0	0	0
1ª união	-1.8	-13.9	5266.0
2ª união	30.6	147.5	6301.0
3ª união	31.3	113.6	6684.0
4ª união	26.6	155.5	6706.0
5ª união	38.7	187.6	6960.0
Topo	74.7	268.4	8119.5
Somatório	200.1	858.7	40036.5

Com base no somatório dos desvios, conclui-se que a torre apresenta no seu topo um desvio de 0.2 m na direção x e 0.859 m na direção y. Os valores indicados no eixo Z correspondem aos comprimentos reais dos troços entre uniões. Dada a impossibilidade de contabilizar o comprimento do troço inferior, não é possível efetuar uma comparação direta de comprimentos de troços.

Em paralelo, de forma a também se comparar os restantes valores de projeto apresentados, foi ainda realizado o levantamento dimensional dos troços da torre, indicados na Tabela 5.3 que se segue. Relativamente às espessuras, é possível constatar que os valores medidos se encontram dentro dos valores previstos no projeto.

Tabela 5.3 – Dimensões reais dos troços torre Canas Senhorim

Troço	D _{base} (mm)	D _{topo} (mm)	Espessura (mm)
1 (base)	1330	1160	8.15
2	1160	1020	8.35
3	1020	860	6.39
4	860	720	5.3
5	720	570	4.15
6 (topo)	570	400	4.2

Na inspeção visual foram observadas anomalias nas ligações entre os troços da torre, nomeadamente grandes deformações e espaçamento excessivo entre as mesmas, conforme é visível na Figura 5.10.

A folga excessiva poderá ter originado o desvio existente no topo, que em conjunto como as diversas falhas a nível geotécnico, colocam em causa a sustentação da estrutura.



Figura 5.10 – Vista geral do fuste onde é visível um espaçamento excessivo entre troços

5.2.2. Causas e Medidas corretivas

Após realização dos ensaios referidos no subcapítulo anterior e respetivas constatações, tornou-se necessário estabelecer uma estratégia de atuação tendo em consideração os quatro cenários possíveis e o parecer do fabricante da torre, resumidos no fluxograma que se apresenta na Figura 5.11.

Na análise de viabilidade da continuação ao serviço da estrutura para o estado atual do fuste da torre e respetiva fundação, teve-se por base o descrito no ponto 5.5.2 na EN 1993-1-1 [24], sendo a secção da estrutura analisada de classe 4, não é admissível que exista como resistente um componente que ultrapasse o limite elástico do material. Como já foi indicado, nesta torre e mais especificamente nas ligações entre troços, é possível observar deformações permanentes, contrariando o referido na norma e, consequentemente, inviabilizando a hipótese da continuação ao serviço da torre nas condições atuais.

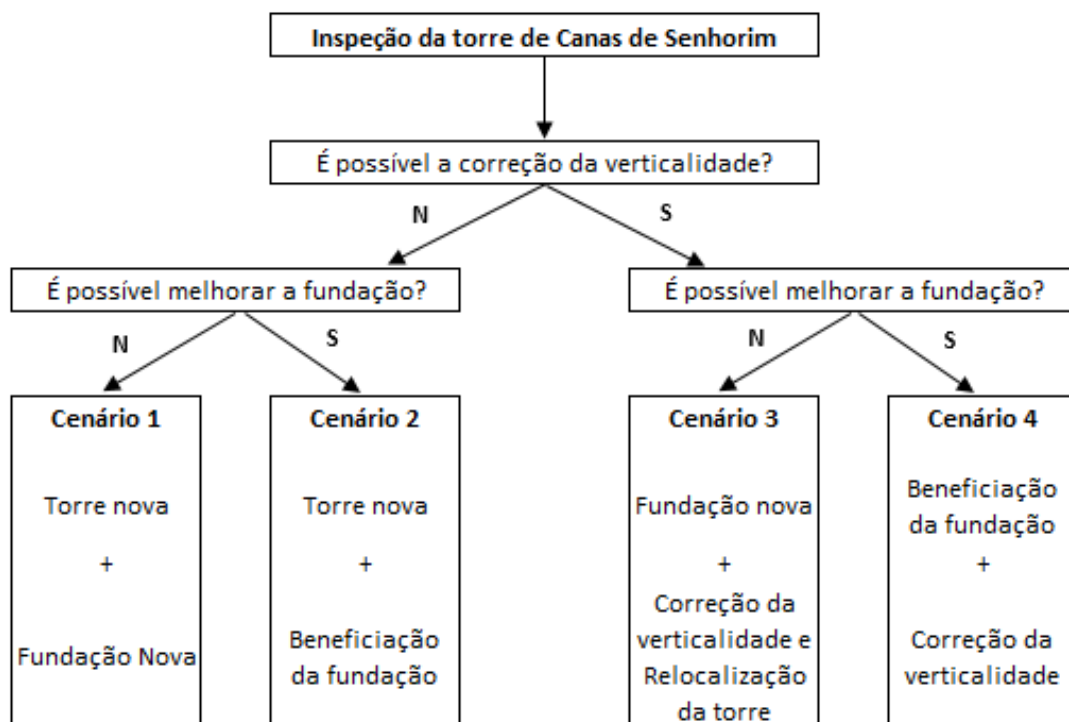


Figura 5.11 – Fluxograma com indicação dos cenários de atuação

Relativamente ao critério de aceitação no que diz respeito à verticalidade neste tipo de estruturas, conforme referido no subcapítulo 3.2.1 deste trabalho, é geralmente definido pelo operador um valor máximo para o deslocamento no topo da torre. Neste caso, considerando que o operador definiu por exigências funcionais dos equipamentos instalados, um desvio no topo da torre inferior a 1° , o que corresponde neste caso a um deslocamento máximo no topo de 698 mm, é possível constatar que o valor verificado de 859mm numa das direções é superior, e afirmar que a estrutura não cumpre com os critérios de verificação.

Quanto ao maciço de fundação, apesar de se constatar que a sua volumetria está dentro dos valores previstos no projeto, verifica-se que em termos geotécnicos não se encontra em condições ideais. No seguimento da prospeção geotécnica realizada no local, foi possível elaborar um modelo geotécnico representativo das condições do solo, sendo conclusivo que até aos 8.6 m de profundidade os solos não são adequados para implantação de fundações diretas. De modo a garantir-se uma tensão admissível favorável, ter-se-ia que se considerar a implantação da fundação direta por sapata à profundidade mínima desse valor. Além da solução de beneficiação da sapata existente,

foi também sugerida uma fundação indireta por microestacas com comprimento mínimo de 9.0 m.

É assim possível aferir que a folga excessiva entre uniões e o desvio notório podem dever-se a deficiências na montagem e arvoreamento da torre, bem como a exposição da estrutura a cargas excessivas, que poderão ter originado a deformação nas zonas de ligação entre troços, consequência de eventual plastificação das secções. A deformação da estrutura poderá também ter origem no assentamento e rotação da fundação, ou a um efeito de escorregamento global do talude de aterro onde se encontra.

Após análise de toda a informação, concluiu-se que a solução mais fiável, de forma a garantir as condições de serviço e segurança, bem como numa perspectiva de se optar por uma solução duradoura, seria a preconizada no cenário 1 apresentado no fluxograma, ou seja, pela substituição da torre e construção de uma nova fundação, projetada especificamente para o local e condicionantes observadas.

Assim, numa primeira fase foi necessário definir a localização da nova fundação, e posteriormente da torre, tendo em consideração o espaço que poderia ser ocupado pelo operador e condicionalismos ao nível do planeamento de rádio. Em simultâneo, foi analisada a possibilidade de reaproveitar uma torre tubular existente, da mesma altura, uma vez que não seria viável os equipamentos reduzirem a sua cota de instalação.

Foi assim selecionada uma torre tubular metálica, com ligação aparafusada entre toços, sendo também definido em conjunto com a equipa do planeamento de rádio e com o outro operador, quais os equipamentos a instalar e respetivas cotas.

Após seleção do local e elaboração do projeto específico da nova fundação, tendo por base o cenário de carga futura (torre e equipamentos), bem como o estudo geológico realizado anteriormente, procedeu-se a execução das microestacas. O projeto contempla a execução de um maciço de fundação de dimensão em planta de $2.70 \times 2.70 \text{ m}^2$ (L x C), que por sua vez transfere as cargas às quatro microestacas localizadas nos seus cantos, com comprimento de 16.0 m e um bolbo de selagem de 7.5 m.

Durante os trabalhos de furação verificou-se a existência de aterro de carácter granulométrico e composicional muito heterogéneo, com presença de materiais de diversa natureza (pneus, madeira, ferro, entre outros), para além de blocos graníticos, situação que não havia sido identificada no estudo geológico realizado anteriormente.

Foram ainda identificadas cavidades intercomunicantes ao longo da furação, o que pareceu corresponder a um depósito descontrolado de resíduos (vazadouro).

Foi assim necessário revestir as paredes dos furos a revestimento metálico em toda a extensão dos mesmos, bem como proceder ao incremento de cada microestaca em cerca de 4.0 m, de modo a garantir o encastramento do bolbo de selagem. Na Figura 5.12 mostra-se a localização de uma das estacas, durante o processo de colocação das mesma.



Figura 5.12 – Exemplo de colocação de uma das microestacas

Após a execução das microestacas, foi realizada uma escavação para a instalação da sapata em betão, onde se procedeu à soldadura dos elementos metálicos nas chapas da cabeça de cada microestaca, seguida do posicionamento dos chumbadouros e colocação da armadura, e posterior betonagem.

De seguida procedeu-se à assemblagem da torre autossuportada tubular, reaproveitada de outra estação onde se encontrava sem equipamentos, onde contudo se apresentava em ótimo estado de conservação. Com a torre já no novo local, mas ainda na posição horizontal, foram instalados novos troços de escada galvanizados com cantoneiras soldadas para suporte da cablagem e, por conseguinte, foi substituída toda a parafusaria das ligações escada/torre e escada/escada, por novos elementos metálicos de classe 8.8 e dimensões adequadas segundo o projeto do fabricante.

Onde já se encontravam posicionados e nivelados os chumbadouros, a torre foi instalada por troços com recurso a grua - Figura 5.13, dois a dois, sendo que cada um destes possui 10 m de altura, perfazendo a altura de 40 m. Em cada ligação entre troços, foram

tratadas as furações através de escovagem manual e mecânica e aplicação de primário anticorrosivo, e aplicada nova parafusaria galvanizada de classe 8.8, de dimensão de acordo com o fabricante da torre e respectivo momento de aperto, como se mostra na Figura 5.14. Foram ainda seladas as juntas das flanges nas ligações entre troços, com vedante de cor igual à pintura do fuste, de modo a prevenir a entrada de água pelas juntas e posterior oxidação dos parafusos de fixação, conforme se pode observar na Figura 5.15.



Figura 5.13 – Posicionamento dos dois troços superiores



Figura 5.14 – Aperto dos ligações aparafusadas entre troços



Figura 5.15 – Vedante colocado nas flanges

Antes da elevação e posicionamento dos últimos dois troços, foram removidos todos os interfaces antigos, e instaladas duas plataformas circulares aligeiradas (sem varandim) no topo da torre, fixas inferior e superiormente com três perfis tubulares de 3 m de comprimento conforme se constata na Figura 5.16.

Estes interfaces servem de suporte às três novas antenas do operador proprietário da estrutura, com cerca de 2.70 m de altura, e a outros equipamentos indispensáveis ao seu correto funcionamento. Foram ainda instalados os equipamentos referentes ao para-raios e sinalizador luminoso, aproveitados da antiga torre de Canas de Senhorim.

Após a ligação dos quatro troços da nova torre, procedeu-se também à união das restantes ligações entre os vários troços de escada acoplados à torre, com recurso a novos elementos metálicos aparafusados. Foi ainda incluído na base da torre uma porta anti-intrusão, conforme se observa na Figura 5.17, assim como um sistema anti-queda vertical rígido do tipo carril guia, ao longo de todo o comprimento da escada. Na porta

foi também aplicada toda a sinalética, como por exemplo, referente ao uso obrigatório de equipamento de proteção individual e referente ao sistema anti-queda instalado.



Figura 5.16 – Pormenor das plataformas e interfaces instalados na nova torre



Figura 5.17 – Pormenor da porta anti-escalamento e sistema anti-queda instalados

Procedeu-se ao tratamento dos chumbadouros, através da aplicação de primário anticorrosivo nos varões, e foram aplicadas as anilhas de chapa, porcas e contraporcas de aperto. Estes elementos foram apertados com recurso a chave dinamométrica, com o momento de aperto definido pelo fabricante da torre. De seguida procedeu-se ao enchimento do espaço livre entre o maciço de betão e a chapa da base, com argamassa monocomponente de retração compensada, à base de cimento, incluindo a instalação de canais de drenagem nos quatro lados do novo maciço, em tubo PVC.

De forma a validar a correta posição da torre e do nivelamento das porcas dos chumbadouros, procedeu-se à verificação da verticalidade da mesma. A instalação dos equipamentos do outro operador foi executada à *posteriori*, sendo composta por duas abraçadeiras ao fuste que suportam três perfis tubulares verticais com cerca de 3 m de comprimento cada, para fixação das três novas antenas. A instalação final é a que se pode observar na Figura 5.18.



Figura 5.18 – Estado final da nova torre de Canas de Senhorim

5.3. Torre em betão armado – Montedor

O segundo caso de estudo que se apresenta diz respeito a uma torre de betão armado, com secção transversal em H, de altura nominal acima do solo de 47.0 m, localizada geograficamente na freguesia de Carreço, concelho e distrito de Viana do Castelo.

Esta torre autossuportada apresentada uma altura total de 51 m, sendo que 4.0 m encontram-se solidarizados na fundação de betão construída no local.

O acesso ao topo da torre é assegurado por escada metálica, fixa ao poste por meio de cantoneiras e varões metálicos, onde se encontra aparafusado o guarda-corpos, não tendo assim um sistema de proteção anti-queda. Possui para-raios e sistema de balizagem noturna e diurna.

A diversas cotas encontram-se plataformas e equipamentos de diversas topologias, conforme se observa na Figura 5.19, mais concretamente antenas tipo *links* de diâmetro 0.6 m e tipo analógicas retangulares, pertencentes ao proprietário da estrutura. No interface tipo cabeça triangular estão presentes antenas de outro operador, tratando-se tal como acontecia no primeiro caso de estudo, de uma torre partilhada.



Figura 5.19 – Vista geral da torre de Montedor

5.3.1. Identificação das patologias

As torres de betão armado, embora mais resistentes que as torres metálicas ao nível da conservação, conforme já referido no capítulo 4 deste trabalho, também sofrem degradação ao longo do tempo, principalmente em zonas com condições atmosféricas adversas.

Com o objetivo de verificar o estado de conservação das superfícies de betão armado e dos elementos metálicas, a fim de avaliar a necessidade de reparação face à eventual existência de anomalias, procedeu-se à inspeção da estrutura. Da observação e inspeção, salientam-se as anomalias indicadas de seguida:

- Em toda a estrutura de betão observa-se fissuração generalizada de fraca espessura, verificando-se nos primeiros metros da torre fissuras de dimensão superior – ver Figura 5.20;
- Existem alguns focos de delaminação do betão, com exposição de troços de varão das armaduras, ocorrendo escorrência de material ferroso – ver Figura 5.21;
- Verifica-se esboroamento do betão, em especial em torno dos suportes de equipamentos aparafusados à estrutura do betão, dando origem à exposição das armaduras e consequente ação corrosiva – ver Figura 5.22;
- Nas zonas de fixação das estruturas metálicas, o betão encontra-se fortemente quebrado, pelo que as argamassas de remate das arestas se apresentam soltas e fissuradas, soando a oco quando percutidas com o martelo;

- A escada metálica, os suportes metálicos das antenas e respectivas fixações (parafusos, anilhas e porcas) apresentam corrosão, designadamente junto aos apoios à estrutura de betão – ver Figura 5.23 e Figura 5.24;
- A esteira metálica de suporte de cabos entre o edifício e a torre apresenta também corrosão acentuada.

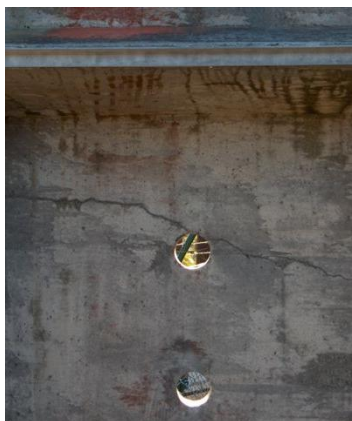


Figura 5.20 – Fissuração e presença de manchas na zona interior do perfil



Figura 5.21 – Varões horizontais à vista



Figura 5.22 – Esboroamento do betão, com varão corroído

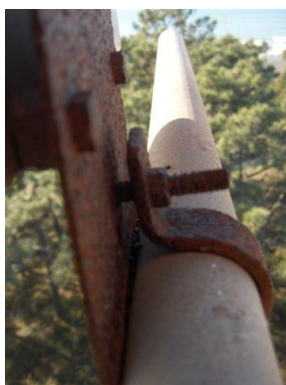


Figura 5.23 – Abraçadeiras de fixação dos interfaces com elevada corrosão



Figura 5.24 – Parafusaria dos interfaces com corrosão

Em complemento à inspeção visual, foram também realizadas medições e ensaios complementares de diagnóstico para avaliação do estado da estrutura, com recurso a equipamentos e amostragens, que mais especificamente se listam de seguida:

- Determinação do perfil de teor em cloretos no betão, em diferentes intervalos de profundidade (0 a 1.5 cm, de 1.5 a 3 cm, de 3 a 4.5 cm);
- Medição da profundidade da camada carbonatada do betão (média de 4 medições por cada zona);

- Determinação geométrica com indicação do valor de recobrimento nos varões verticais e horizontais

Os ensaios foram realizados junto à base da torre, em zonas acessíveis, distribuídos pela orientação geográfica da mesma, ou seja, nos quatro lados da estrutura.

Os valores de percentagem de teor de cloretos nas superfícies exteriores do fuste de betão, obtidos por amostragem, apresentam-se acima do limite considerado. Este limite, de acordo NP EN 206-1 [7], dada a classificação “XS”, corresponde a um máximo de 0.2% de teor de cloretos.

No entanto, os valores acima do limite indicado encontram-se nas profundidades de 0 a 3 cm, relacionando-se com a proximidade da estrutura ao ambiente marítimo, reduzindo substancialmente entre os 3 e os 4.5 cm. Os valores oscilam entre os 0.815% e os 0.507% na profundidade mais superficial, diminuindo para valores entre 0.334% e os 0.298% para profundidades entre 3 e 4.5cm.

É ainda possível concluir que a armadura se encontra a uma profundidade com percentagem de teor de cloretos moderada, uma vez que nas zonas de ensaio os valores médios do recobrimento da armadura rondavam os 3.3 cm, havendo forte possibilidade de despassivação dos varões metálicos e conseqüente corrosão.

Quanto à medição da profundidade carbonatada do betão, verificou-se que os valores se apresentavam extremamente baixos, concluindo-se que não existe influência significativa da poluição atmosférica no local onde se encontra instalada a torre.

5.3.2. Medidas corretivas

No seguimento das patologias exibidas na torre de betão de Montedor, foi planeada uma intervenção geral à estrutura, com o objetivo de a reabilitar, no sentido de melhorar o desempenho da mesma. A ação de reparação baseou-se num conjunto de especificações técnicas, que previam:

- Reparação do betão, com saneamento do material afetado, reparação e proteção das armaduras, e aplicação de argamassas adequadas;
- Reparação ou substituição dos elementos de fixação metálicos, nos interfaces de suporte de antenas e nas escadas.

Procedeu-se assim aos trabalhos de conservação geral da torre de 47.0 m de altura, que no que diz respeito à beneficiação das superfícies de betão armado, como por exemplo a que se apresenta na Figura 5.25 a), englobou as seguintes tarefas:

- a) Lavagem geral das superfícies com recurso a jato de água a alta pressão;
- b) Picagem geral de todas as zonas onde era visível a degradação do betão e com armaduras à vista, com recurso a martelos demolidores ligeiros;
- c) Escovagem geral das armaduras expostas e aplicação de agente de aderência e revestimento anticorrosivo, à base de cimento e resina de epóxi modificada nas mesmas - Figura 5.25 b);
- d) Reperfilamento das secções da torre com recurso a argamassa de reparação monocomponente à base de cimento com resinas sintéticas, de elevada resistência mecânica - Figura 5.25 c);
- e) Aplicação de duas camadas gerais de revestimento acrílico meio brilho de alta espessura, para proteção do betão, com boa resistência em ambientes marítimos, de cor final cinza clara, incluindo as três faixas de balizamento diurno no topo nas cores vermelho, branco e vermelho - Figura 5.25 d).



a) Estado inicial



b) Aplicação de inibidor de corrosão na armadura



c) Reperfilamento da secção



d) Revestimento por pintura

Figura 5.25 – Etapas de tratamento de uma secção na torre de Montedor

Relativamente aos elementos metálicos ao longo da torre como cantoneiras, escada, varandim, plataformas e interfaces, procedeu-se ao tratamento anticorrosivo dos mesmos, através da limpeza aos graus St2 / St3, nas zonas com corrosão ou sem pintura, e lixagem geral nas restantes zonas, seguido de lavagem e desengorduramento geral.

Dada a localização geográfica da torre, constata-se que a mesma se encontra num ambiente de corrosividade médio, de categoria C3, sendo para isso necessário aplicar um esquema de pintura que cumprisse os requisitos necessários à proteção dos elementos expostos a este ambiente. Optou-se assim pela aplicação de um primário de alta espessura na cor cinza alumínio, mínimo 120 μm , nas zonas tratadas. De seguida, foram aplicadas duas camadas gerais em todos os elementos metálicos, com 80 μm cada: a primeira refere-se a um primário epóxico de cor cinza; a segunda de finalização diz respeito a um esmalte poliuretano na cor cinza clara.

Na aplicação dos esquemas de pintura preconizados, quer no betão quer nos elementos metálicos, foram controladas as condições de aplicação e espessuras de película seca por cada demão, tendo sempre em consideração as fichas técnicas dos produtos utilizados. As condições ambientais são geralmente realizadas com recurso a um termo higrómetro, sendo as leituras relativas à temperatura, humidade do ar, entre outros, registadas num modelo próprio, criado na maioria das vezes pelo dono de obra, onde também são registadas as leituras obtidas de forma direta relativamente à espessura de película de tinta seca.

Procedeu-se ainda à remoção do guarda-corpos e instalação de sistema anti-queda vertical rígido do tipo carril guia, ao longo de todo o comprimento da escada, como é visível na Figura 5.26, assim como toda a sinalética referente ao mesmo. Foram também desinstalados alguns interfaces e equipamentos obsoletos, de forma a aliviar a carga na torre.



Figura 5.26 – Vista final da torre de Montedor após conservação

6. Conclusões e Perspetivas Futuras

6.1. Conclusões

É possível inferir que foram cumpridos os objetivos propostos para este trabalho.

Constata-se que existem atualmente uma enorme variedade de tipologias de estruturas cuja função primordial é o suporte de equipamentos de telecomunicações. Estas estruturas variam não só quanto à sua forma, mas também quanto ao seu principal material constituinte, fator que determinou a apresentação dos diferentes temas ao longo desta monografia.

Do referido ao longo do texto apresentado, importa salientar que a abordagem a técnicas de inspeção permite conhecer o estado das estruturas, elaborar de forma correta um plano de ações corretivas, assim como prevenir algum acidente que resulte do avançado estado de degradação da mesma, que poderá resultar em consequências graves dada a localização das torres cada vez mais próxima dos centros urbanos. A realização de uma ação de inspeção atempada e rigorosa, conduz ainda a uma redução de custos relacionados com a conservação da estrutura, na medida em que esta se torna mais eficiente.

Conclui-se ainda que a conservação das torres de telecomunicações assume papel importante permitindo que as mesmas continuem em serviço e cumpram o objetivo para o qual estão projetadas. São indicados neste trabalho diversas metodologias, pretendendo-se que sirvam de base ao trabalho de campo realizado.

Os acidentes já ocorridos e a necessidade de grandes intervenções representam um custo acrescido, reforçando a ideia da necessidade de estabelecer um plano anual de inspeções e conseqüentemente, um plano anual de manutenção destas estruturas.

No que concerne aos casos de estudo apresentados, é ainda possível depreender que para uma correta intervenção, é necessária uma avaliação cuidada da estrutura e dos fatores que podem ser condicionantes, como por exemplo ao nível do sistema radiante e da sua localização geográfica.

6.2. Perspetivas e desenvolvimentos futuros

Apesar de se verificar uma crescente preocupação com a conservação das infraestruturas, existem ainda aspetos que se considera que poderiam ser desenvolvidos, designadamente:

- Apurar a periodicidade ideal da ação de conservação de uma estrutura, onde se verifique maior relação custo/benefício, considerando fatores como a sua localização geográfica bem como o carregamento a que está sujeita.
- Estudar a influência da degradação da estrutura ao nível da capacidade estrutural da mesma, como a perda de secção em elementos metálicos devido à corrosão.

Dada a constante evolução tecnológica, tornar-se-á imperativo que sejam estudadas e desenvolvidas novas estruturas que consigam suportar os equipamentos pretendidos, tendo em consideração a redução do impacto visual e sobretudo o factor económico.

Referências bibliográficas

- [1] CIA 10/03 — Circular de Informação Aeronáutica, Limitações em altura e balizagem de obstáculos artificiais à navegação aérea, Instituto Nacional de Aviação Civil, 2003
- [2] Murteira, Ana — Inspeção e Manutenção de Torres e Postes de Radiocomunicações, Relatório de Estágio, ISEL, 2010
- [3] ISO 898-1:2009 — Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel, Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread (ISO), CEN, 2009
- [4] NP EN 1993-1-8:2010 — Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço, Parte 1-8: Projeto de ligações, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2010
- [5] NP EN ISO 2409:2015 — Tintas e vernizes, Ensaio da quadrícula (EN ISO 2409:2013), Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2015
- [6] NP EN ISO 4624:2004 — Tintas e Vernizes, Ensaio de aderência por tração, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2004
- [7] NP EN 206-1:2007 — Betão, Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2007
- [8] NP EN 12504-2:2003 — Ensaio de betão nas estruturas, Parte 2: Ensaio não destrutivo - Determinação do índice esclerométrico, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2003
- [9] NP EN 12504-4:2007 — Ensaio de betão nas estruturas, Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2007
- [10] NP EN 1504-2:2006 — Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão - Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da

conformidade, Parte 2: Sistemas de proteção superficial do betão, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2006

- [11] EN 13411-5:2008 — Terminations for steel wire ropes - Safety - Part 5: U-bolt wire rope grips, CEN, 2008
- [12] NP EN ISO 1461:2002 — Revestimentos de zinco por imersão a quente sobre produtos acabados de ferro e aço - Especificações e métodos de ensaio (ISSO 1461:1999), Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2002
- [13] ISO 9223 — Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation (ISO), 2012
- [14] NP EN ISO 12944-2:1999 — Tintas e vernizes, Proteção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura, Parte 2: Classificação de ambientes, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 1999
- [15] ISO 8501-1:2007 — Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness, Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, 2007
- [16] NP EN ISO 12944-4:1999 — Tintas e vernizes, Proteção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura, Parte 4: Tipos de superfície e de preparação de superfície, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 1999
- [17] NP EN ISO 4628:2005 — Tintas e Vernizes - Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspeto, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2005
- [18] ISO 8501-2:1994 — Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness, Part 2: Preparation grades of previously coated steel substrates after localized removal of previous coatings, 1994
- [19] NP EN ISO 12944-1:1999 — Tintas e vernizes, Proteção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura, Parte 1: Introdução geral, Instituto

Português da Qualidade (IPQ), 1999

- [20] EN ISO 12944-5:2007 — Tintas e vernizes, Proteção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura, Parte 5: Protective paint systems (Esquemas de pintura), Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2007
- [21] NP EN 1504:2006 — Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2006
- [22] NP EN 1504-7:2008 — Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão - Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade, Parte 7: Proteção contra a corrosão das armaduras, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2008
- [23] NP EN 1504-3:2006 — Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão - Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade, Parte 3: Reparação estrutural e não estrutural, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2006
- [24] NP EN 1993-1-1:2010 — Projeto de estruturas de aço, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2010