TÉCNICO LISBOA

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS DE COBERTURAS VERDES

Análise de casos de estudo

Fausto Miguel Ferreira Raposo

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Construção e Reabilitação

Júri

Presidente:	Professor Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia
Orientador:	Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro
Vogal:	Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Novembro de 2013

RESUMO

As coberturas verdes são um dos elementos importantes na transformação das cidades atuais em ambientes urbanos mais sustentáveis. Integradas em estratégias de planeamento ecológico e de desenvolvimento sustentável contribuem de forma passiva para a obtenção de ambientes confortáveis no interior dos edifícios, reduzindo os consumos energéticos e permitindo que os edifícios se adaptem ao meio ambiente envolvente.

A presente dissertação pretende contribuir para um melhor conhecimento da tecnologia e dos benefícios (económicos, ambientais e sócio-comunitários) que advêm da sua implementação no topo dos edifícios, através da elaboração de um Manual de Boas Práticas para a conceção, instalação e manutenção de sistemas construtivos de coberturas verdes, procurando clarificar os seus requisitos e especificações técnicas.

A análise de dois casos de estudo pretende verificar a aplicabilidade prática do Manual de Boas Práticas. No primeiro caso procura-se verificar as boas práticas de uma cobertura verde num edifício de construção recente. No segundo caso de estudo analisa-se a viabilidade da reabilitação da cobertura existente utilizando um sistema de cobertura verde.

Em relação ao primeiro caso, verifica-se que a aplicação do Manual de Boas a Práticas a casos similares pode contribuir para a melhoria do desempenho em serviço dos sistemas de coberturas verdes instalados. Quanto ao segundo caso, constata-se que a viabilidade de implementação de coberturas verdes no topo de edifícios existentes está condicionada pela sua capacidade em receber um revestimento vegetal, sendo que os fatores mais importantes a considerar são a capacidade de carga da estrutura, o tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização e a capacidade de escoamento da cobertura. Entre outros benefícios, verifica-se que as soluções construtivas propostas para este segundo caso de estudo podem contribuir, no caso particular da cidade de Lisboa, para uma taxa de retenção média anual de água pluvial entre 52 e 61%.

Palavras-chave: Coberturas Verdes; Construção Sustentável; Eficiência energética; Reabilitação e Manutenção de Edifícios.

ABSTRACT

Green roofs are an important element for the transformation of contemporary cities into more sustainable urban environments. By being integrated in ecological design strategies and sustainable development, they passively contribute to a more comfortable ambience within buildings, by reducing energy consumption and enabling buildings to adapt to their surroundings.

This thesis aims to contribute to a better understanding of the technology and of the benefits (economic, environmental and socio-community) arising from its implementation on building rooftops, through the production of a "Best Practice Guidelines" for the design, installation and maintenance of green roofs systems, seeking to clarify their technical requirements specifications.

The analysis of two case studies intends to verify the practical applicability of the Guidelines. The first case study, allow to determine the best practices of green roof in a newly constructed building. The second case study, verify the feasibility of retrofit a building rooftop with a green roof system.

Regarding the first case study, it is verified that applying the "Best Practices Guideline" to similar cases can contribute to the improvement of service performance of green roof systems installed. In the second case study, it is observed that the feasibility of implementing green roofs on existing buildings rooftop is conditioned by its ability to receive a vegetated layer, and the most important factors to consider are the load capacity of the structure, the type and condition of the waterproofing system and the flow capacity of the roof. Among other benefits, it is verified that green roof systems proposed for this second case study can contribute, in the particular case of Lisbon city, for an annual average rate of rain water retention between 52 and 61%.

Keywords: Green Roofs; Sustainable Construction; Energy Efficiency; Buildings Rehabilitation and Maintenance.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação corresponde à concretização de uma etapa importante no meu percurso académico e profissional. O resultado foi fruto do contributo de algumas pessoas às quais expresso os meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Manuel Duarte Pinheiro, meu orientador científico, pela disponibilidade total e incentivo concedidos ao longo do desenvolvimento do trabalho. A sua orientação e o seu apoio foram fundamentais para a conclusão do mesmo.

A todos os professores do Mestrado em Construção e Reabilitação, pelo enriquecimento da minha formação e pela disponibilidade, motivação e simpatia manifestada ao longo do curso, nomeadamente ao Professor Jorge de Brito, por ter despoletado o interesse por esta temática, e ao Professor João Ramôa Correia, pela total disponibilidade e informações prestadas durante este período.

Aos formadores do Curso Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I, pelo seu contributo para o aprofundamento da temática e pela simpatia e disponibilidade durante este curso de formação, em particular à Arq. Livia Tirone pelo interesse, apoio e motivação, que manifestou numa altura decisiva para a conclusão desta investigação.

A todos aqueles que possibilitaram a recolha de informação, nomeadamente aos funcionários do Arquivo Municipal – Núcleo Intermédio, da Câmara Municipal de Lisboa e aos moradores e proprietários dos edifícios da Av. Dom Rodrigo da Cunha, em particular ao Sr. Manuel Brito, pelo interesse e disponibilidade.

Aos colegas do 1º Curso de Mestrado em Construção e Reabilitação, nomeadamente ao Hugo Moreira e à Joana Barrelas pelo companheirismo e incentivo.

Aos meus amigos e familiares, pelo apoio, incentivo, compreensão e paciência manifestados, contribuindo de forma fundamental para a concretização da dissertação, nomeadamente à Eng. Rita Passadas, pelo apoio prestado às questões da estabilidade dos edifícios e à Arq. Daniela Basílio e à Ana Craveiro pelo apoio prestado na revisão do texto.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, à minha mulher, a Rita, e aos meus filhos, o Francisco e o Guilherme, a quem dedico este trabalho. A sua compreensão e paciência e o seu apoio incondicional foram essenciais para a frequência do Mestrado em Construção e Reabilitação, no qual a realização da presente dissertação se integra.

ÍNDICE GERAL

RESUMO ..... **I**

ABSTRACT ..... **III**

AGRADECIMENTOS ..... **V**

ÍNDICE GERAL ..... **VII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XI**

ÍNDICE DE QUADROS ..... **XV**

1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO **1**

1.1. Enquadramento 1

1.2. Motivação e objetivos da dissertação 3

1.3. Metodologia proposta 4

1.4. Organização da dissertação 5

2. ESTADO DA ARTE **7**

2.1. Definição de coberturas verdes 7

2.2. Enquadramento histórico 8

2.3. Tipologias de coberturas verdes 11

2.3.1. Intensiva 11

2.3.2. Intensiva simples 12

2.3.3. Extensiva 13

2.3.4. Soluções híbridas 13

2.4. Normalização e especificações 15

2.5. Custos e benefícios 17

2.5.1. Benefícios económicos 18

2.5.2. Benefícios ambientais 21

2.5.3. Benefícios sócio-comunitários 26

2.5.4. Barreiras e desvantagens 27

2.5.5. Estratégias e políticas de incentivo 28

2.5.6. Análise de custo/benefício 32

2.6. Portugal e o clima mediterrânico 33

2.7. Ajustamento e práticas 34

3. MANUAL DE BOAS PRÁTICAS **35**

3.1. Considerações iniciais 35

3.2. Solução construtiva 35

3.2.1. Camadas Funcionais 35

3.2.2. Configuração das soluções construtivas e sistemas comerciais 37
3.2.3. Estrutura resistente 41
3.2.4. Clima 42
3.2.4.1. Caracterização do clima em Portugal 42
3.2.4.2. Zonas climáticas definidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) 44
3.2.5. Desempenho térmico 48
3.2.5.1. Propriedades térmicas das coberturas verdes 48
3.2.5.2. Impacto no desempenho energético dos edifícios 50
3.2.5.3. Efeito sinérgico da integração de sistemas 52
3.3. Planeamento, viabilidade e implementação 54
3.3.1. Definição dos objetivos 54
3.3.2. Estabilidade 55
3.3.2.1. Cargas verticais 56
3.3.2.2. Inclinação da cobertura 57
3.3.2.3. Acção do vento 58
3.3.3. Segurança 59
3.3.3.1. Acessibilidade e utilização 59
3.3.3.2. Proteção contra quedas 60
3.3.3.3. Segurança contra a propagação de incêndios 61
3.3.4. Isolamento térmico 63
3.3.4.1. Fatores a considerar na seleção dos materiais isolantes 64
3.3.4.2. Formas de aplicação da camada de isolamento térmico 64
3.3.4.3. Aplicação de materiais de isolamento térmico como camada de enchimento leve 65
3.3.5. Estanquidade 66
3.3.5.1. Seleção do sistema de impermeabilização 66
3.3.5.2. Barreira de raízes 68
3.3.5.3. Camada de proteção do sistema de impermeabilização 68
3.3.5.4. Pontos singulares 70
3.3.5.5. Inspeções e ensaios de deteção de fugas 71
3.3.6. Gestão das águas pluviais 72
3.3.6.1. Sistema de drenagem pluvial 72
3.3.6.2. Retenção de águas pluviais 74
3.3.6.3. Capacidade de acumulação de água 75
3.3.6.4. Camada drenante 75
3.3.6.5. Camada filtrante 77
3.3.7. Desempenho da vegetação 78
3.3.7.1. Substrato de crescimento 78

3.3.7.2. Seleção das plantas 81
3.3.7.3. Espécies suculentas 83
3.3.7.4. Plantação 84
3.3.7.5. Irrigação 84
3.4. Gestão e manutenção 85
3.4.1. Projeto e Instalação 85
3.4.1.1. Planeamento e gestão da obra 85
3.4.1.2. Garantia e responsabilidade 86
3.4.2. Conservação e Manutenção 86
3.4.2.1. Plano de manutenção 87
3.4.2.2. Atividades de manutenção 88
3.4.2.3. Prevenção de danos e anomalias 90
3.4.2.4. Principais anomalias 91
3.5. Considerações finais 93

4. ANÁLISE E VERIFICAÇÃO PRÁTICA DE CASOS DE ESTUDO 99
4.1. Considerações iniciais 99
4.2. Metodologia de análise e verificação prática dos casos de estudo 100
4.3. Edifício de habitação coletiva "Torre Verde", Lisboa 104
4.4. Conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha, Lisboa 107
4.5. Recomendações 111
4.5.1. Coberturas verdes da "Torre Verde" 111
4.5.2. Coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha 113
4.6. Considerações finais 118

5. CONCLUSÕES 121
5.1. Considerações gerais 121
5.2. Conclusões finais 123
5.3. Perspetivas de desenvolvimento futuro 125

BIBLIOGRAFIA 127
ANEXOS
Anexo 1 – Zonas climáticas definidas no RCCTE e suas Estratégias Bioclimáticas A.1
Anexo 2 – Tabela de conversão de pendentes e inclinações A.13
Anexo 3 – Fichas de caracterização e verificação aplicadas aos dois casos de estudo A.17
Anexo 4 – Checklist de verificação internacionais de referência A.25
Anexo 5 – Classificação das regiões climáticas de Lisboa A.31

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 0.0.0 (Capa) – Vista aérea da *"High Line"*, Nova York, EUA. Foto de Iwan Baan © 2009. Fonte: thehighline.org, 2013 ..... Capa
Fig. 2.1.1 – Reprodução da natureza nas coberturas 8
Fig. 2.2.1 – Representação dos jardins suspensos da Babilónia de Maarten van Heemskerck 9
Fig. 2.2.2 – Desenho dos Jardins Suspensos da Babilónia baseado nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey 9
Fig. 2.2.3 – Vista exterior da Torre Guinigi em Lucca, Itália 9
Fig. 2.2.4 – Vista da cobertura da Torre Guinigi em Lucca, Itália 9
Fig. 2.2.5 – Coberturas planas com revestimento vegetal vivo do Mosteiro de La Tourette, do Arq.º Le Corbusier 10
Fig. 2.2.6 – Todas as coberturas de edifícios de escritórios de Estugarda, Alemanha, suportam vegetação 11
Fig. 2.3.1 – Esquema representativo das tipologias Intensiva, Intensiva simples e Extensiva 11
Fig. 2.3.2 – Esquema de uma solução híbrida 11
Fig. 2.3.3 – Cobertura intensiva do edifício Daimler Chrysler Complex, Berlim, Alemanha 12
Fig. 2.3.4 – Cobertura intensiva simples no edifício da Câmara Municipal de Chicago 12
Fig. 2.3.5 – Cobertura extensiva do Schiphol Plaza no Aeroporto de Amesterdam 12
Fig. 2.3.6 – Cobertura semi-extensiva do edifício ASLA, Washington, D.C 14
Fig. 2.3.7 – Cobertura castanha do edifício Laban Dance Center, Londres. Substrato à base de agregados reciclados do próprio local 14
Fig. 2.4.1 – Aprovação Técnica Europeia para soluções de coberturas verdes 16
Fig. 2.5.1 – Benefícios das coberturas verdes à escala de bairro 17
Fig. 2.5.2 – Cobertura verde na Alemanha com painéis fotovoltaicos e Seduns 20
Fig. 2.5.3 – Influência de diferentes materiais e soluções de revestimento de cobertura, inclusive de cobertura verde, na temperatura do ar ambiente (exterior e interior) obtidas na cobertura do Chicago's City Hall 22
Fig. 2.5.4 – Substrato de crescimento com base em seixo rolado e pedaços britados de tijolo e telhas 25
Fig. 2.5.5 – Cobertura verde do Centro Comercial MAG, Geilingen, Alemanha 26
Fig. 2.5.6 – Plantações em coberturas de blocos habitacionais na China 26
Fig. 2.5.7 – Coberturas verdes em Weiler Park – nova área industrial e comercial em Estugarda, Alemanha 30
Fig. 2.6.1 – Vista da cobertura verde do edifício da Fundação Calouste Gulbenkian 33
Fig. 2.6.2 – Vista aérea do Edifício da Portugal Telecom em Picoas 33
Fig. 2.6.3 – Vista do conjunto de terraços Torre Zen, Torre Fernão de Magalhães e Central Office 33
Fig. 2.6.4 – Vista da cobertura verde sobre a ETAR de Alcântara 33
Fig. 3.2.1 – Camadas funcionais 36
Fig. 3.2.2 – Diferentes soluções construtivas de coberturas verdes 38
Fig. 3.2.3 – Tapetes pré-cultivados Xeroflor® 39
Fig. 3.2.4 – Aplicação de substratos vegetais 39

Fig. 3.2.5 – Substrato para biodiversidade 39
Fig. 3.2.6 – Sistema modular LiveRoof® 41
Fig. 3.2.7 – Classificação climática de Köppen para o território Continental 43
Fig. 3.2.8 – Precipitação para o ano médio de 1940 a 1997. 44
Fig. 3.2.9 – Gráficos termo-pluviométricos de algumas estações meteorológicas de Portugal Continental 44
Fig. 3.2.10 – Zonas climáticas definidas no RCCTE – a) Inverno; b) Verão 45
Fig. 3.2.11 – Localização dos concelhos com clima: a) I1-V1; b) I1-V2; c) I1-V3 46
Fig. 3.2.12 – Localização dos concelhos com clima: a) I2-V1; b) I2-V2; c) I2-V3 47
Fig. 3.2.13 – Localização dos concelhos com clima: a) I3-V1; b) I3-V2; c) I2-V3 47
Fig. 3.2.14 – Propriedades térmicas das coberturas verdes 49
Fig. 3.2.15 – Zonas climáticas RCCTE com potencial para utilização de coberturas verdes como técnica passiva de arrefecimento. 52
Fig. 3.2.16 – Temperatura do substrato de crescimento, com e sem integração de painéis 53
Fig. 3.2.17 – Produção de energia fotovoltaica em cobertura verde e cobertura exposta 53
Fig. 3.3.1 – Colocação do substrato de crescimento em pendente com o apoio de um sistema de estabilização de proteção contra o deslizamento 58
Fig. 3.3.2 – Colocação de grelha de enrelvamento em betão de proteção contra a ação do vento 60
Fig. 3.3.3 – Linha de vida como sistema de proteção contra quedas 60
Fig. 3.3.4 – Sistema pontual de proteção contra quedas 60
Fig. 3.3.5 – Margens de segurança contra incêndios 62
Fig. 3.3.6 – Margens de segurança de proteção contra incêndios nos pontos singulares 62
Fig. 3.3.7 – Aceiros de compartimentação da cobertura extensiva 62
Fig. 3.3.8 – Formas de aplicação da camada de isolamento térmico. Desenho de Hay Joung Hwang 65
Fig. 3.3.9 – Aplicação de poliestireno extrudido (XPS) como camada de enchimento leve 66
Fig. 3.3.10 – Sistema de impermeabilização em múltiplas camadas 67
Fig. 3.3.11 – Sistema de impermeabilização em camada única 67
Fig. 3.3.12 – Sistema de impermeabilização em membrana líquida 67
Fig. 3.3.13 – Colocação de barreira de raízes 68
Fig. 3.3.14 – Feltro geotêxtil de proteção mecânica 69
Fig. 3.3.15 – Detalhes construtivos dos pontos singulares 70
Fig. 3.3.16 – Detalhe construtivo da saída de escoamento protegida com câmara de inspeção e margens de segurança 73
Fig. 3.3.17 – Margens de segurança e saídas de escoamento protegidas com agregados de pedra 73
Fig. 3.3.18 – Esteira de drenagem com feltro geotêxtil 76
Fig. 3.3.19 – Placa de drenagem em plástico 76
Fig. 3.3.20 – Placa de drenagem em espuma modificada Vydro® 76
Fig. 3.3.21 – Feltro geotêxtil para camada filtrante 78
Fig. 3.3.22 – Colocação camada filtrante sobre elemento da camada drenante 78

Fig. 3.3.23 – Substrato de crescimento de agregados minerais com materail orgânico 79
Fig. 3.3.24 – Tapetes de vegetação 79
Fig. 3.3.25 – Algumas espécies autóctones de Portugal 82
Fig. 3.3.26 – Algumas espécies de Seduns autóctones de Portugal 83
Fig. 3.4.1 – Fases dos cuidados de manutenção 87
Fig. 3.4.2 – Rede juta de proteção contra a erosão 91
Fig. 3.4.3 – Estagnação hídrica 92
Fig. 3.4.4 – Efeito de varrimento e empolamento por ação do vento 92
Fig. 3.4.5 – Queda da vegetação por ação do vento – efeito de "vela" 92
Fig. 3.4.6 – Compactação do substrato 92
Fig. 3.4.7 – Crescimento deficiente das plantas 92
Fig. 3.4.8 – Abandono 92
Fig. 4.1.1 – Vista exterior da Torre Verde 99
Fig. 4.1.2 – Vista das coberturas verdes 99
Fig. 4.1.3 – Vista exterior de um dos edifícios 99
Fig. 4.1.4 – Vista da cobertura plana de um dos edifícios 99
Fig. 4.3.1 – Alçado poente 104
Fig. 4.3.2 – Planta do Piso 12 – identificação das áreas verdes 105
Fig. 4.3.3 – Tela drenante de proteção do sistema de impermeabilização 106
Fig. 4.3.4 – Aspeto geral do tipo de vegetação 106
Fig. 4.3.5 – Sistema de rega automática 107
Fig. 4.3.6 – Depósito de água sob a estrutura do deck de madeira 107
Fig. 4.4.1 – Alçado 108
Fig. 4.4.2 – Corte longitudinal 108
Fig. 4.4.3 – Planta do último piso e terraço acessível 108
Fig. 4.4.4 – Saídas de escoamento junto à fachada Sul e estruturas dos antigos estendais 109
Fig. 4.4.5 – Fissuração da membrana líquida recentemente colocada 110
Fig. 4.4.6 – Estado de conservação da membrana betuminosa original 110
Fig. 4.4.7 – Deteriorização da impermeabilização original 110
Fig. 4.4.8 – Cobertura inclinada em chapa de fibrocimento e impermeabilização betuminosa recente 110
Fig. 4.4.9 – Cobertura cobertura inclinada em chapa de fibrocimento 110
Fig. 4.4.10 – Sistema de cobertura invertida com proteção em final em betonilha 110
Fig. 4.4.11 – Impermeabilização betuminosa recente 110
Fig. 4.5.1 – Deteriorização dos revestimentos da paredes perimetrais 111
Fig. 4.5.2 – Necessidade de proteção contra salpicos 111
Fig. 4.5.3 – Solução extensiva com 5,5 cm de altura com cerca de 50 kg/m2 de peso de saturação e 26 l/m2 de capacidade de retenção de água da Xeroflor® 114

Fig. 4.5.4 – Solução extensiva com 13 cm de altura com cerca de 150 kg/m2 de peso de saturação e 45 l/m2 de capacidade de retenção de água da ZinCo® 114
Fig. 5.1.1 – Vista de uma das coberturas verdes do Empire State Building, instaladas recentemente pela Xeroflor® América 122
Fig. A.5.1 – Caracterização dos Climatopos de Lisboa A.33
Fig. A.5.2 – Climatopos de Lisboa..... A.33

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Síntese da caracterização dos tipos de cobertura verde 15
Quadro 2.2 – Necessidades energéticas totais (de aquecimento e arrefecimento) em Atenas, La Rouchelle e Estocolmo..... 19
Quadro 2.3 – Potencial para poupança energética de uma cobertura verde em coberturas sem isolamento, com isolamento moderado e com isolamento forte, em edifícios de Atenas (Grécia) 20
Quadro 2.4 – Características da profundidade do substrato de crescimento (mm) e quantidade de escoamento (% da precipitação total anual) 24
Quadro 3.1 – Classificação geral das coberturas verdes de acordo com as soluções construtivas comerciais ... 40
Quadro 3.2 – Média e máxima temperatura do ar interior. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em La Rouchelle para diferentes espessuras de isolamento térmico..... 51
Quadro 3.3 – Média e máxima temperatura do ar interior. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em Atenas, La Rouchelle e Estocolmo 51
Quadro 3.4 – Valores de referência para a percentagem de retenção de água em função da profundidade do substrato de crescimento 74
Quadro 3.5 – Características dos materiais inorgânicos usados como base dos substratos de crescimento de coberturas verdes 80
Quadro 3.6 – Profundidades padrão do substrato de crescimento para os diferentes tipos de vegetação 81
Quadro 3.7 – Síntese das atividades de manutenção e sua periodicidade, por tipo de cobertura 88
Quadro 3.8 – Periodicidade de ações de manutenção preditiva para os restantes elementos fonte de manutenção, além do revestimento vegetal, em coberturas inclinadas e planas..... 89
Quadro 3.9 – Periodicidade de ações de manutenção preventiva para os restantes elementos fonte de manutenção, além do revestimento vegetal, em coberturas inclinadas e planas..... 89
Quadro 3.10 – Principais anomalias e causas prováveis em sistemas de coberturas verdes 92
Quadro 4.1 – Identificação geral do edifício e da sua envolvente 100
Quadro 4.2 – Caracterização, verificação e inspeção de coberturas verdes 101
Quadro 4.3 – Caracterização de uma cobertura existente 102
Quadro 4.4 – Verificação da viabilidade de implementação de coberturas verdes em coberturas existentes. 103

1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

1.1. Enquadramento

De acordo com a IGRA – International Green Roof Association (2013), citando o Departamento de População das Nações Unidas, pela primeira vez na História mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas. Em 2050, cerca de 70% da população, estará concentrada nas cidades, em comparação com menos de 30% em 1950 (IGRA, 2013). Juntamente com o impacto das alterações climáticas, este período de crescimento urbano sem precedentes está a criar enormes desafios ambientais para as cidades europeias devido à perda de biodiversidade urbana e a uma cada vez maior expansão das cidades para as áreas rurais à sua volta, levando a um aumento do risco de inundação. Smith (2001), citado por Mourão e Pedro (2004), refere que de entre os fatores de degradação do ambiente é importante salientar o papel dos edifícios, que são responsáveis por 50% do consumo mundial de combustíveis fósseis e 50% da emissão de gases com efeito de estufa.

Mourão e Pedro (2004) constatam que a reação internacional, perante a evidência dos problemas sociais e ambientais que resultaram do rápido e pouco controlado processo de crescimento urbano, emergiu com o conceito de sustentabilidade, segundo o qual a satisfação das necessidades presentes não pode comprometer a possibilidade de satisfação das necessidades das gerações futuras. Os mesmos autores referem que em torno deste conceito se estabeleceu uma plataforma de consenso internacional sobre a necessidade de consolidar princípios e diretivas de intervenção sustentável, dos quais resultaram vários documentos que deveriam ser aplicados no território português (por exemplo, o relatório Urban Strategy, o manual Green Vitruvius, etc.). Desde a Cimeira da Terra em 1992 que muitos governos locais estão empenhados na implementação da Agenda Local 21 e na criação de planos de ação para o desenvolvimento sustentável nas suas diversas vertentes (Mourão e Pedro, 2004). No que diz respeito aos edifícios, surge o conceito de Construção Sustentável, cuja definição mais aceite internacionalmente foi a apresentada por Charles Kibert em 1994, que a define como a "criação de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos" (LiderA, 2013). A Agenda 21 para a Construção Sustentável (CIB 1999) apontou como o maior desafio para a indústria da construção a melhoria dos parâmetros ambientais, repensando o processo construtivo em nome do desenvolvimento sustentável (Mourão e Pedro, 2004).

Mourão e Pedro (2004), citando algumas publicações, referem que em Portugal se evidenciam também vários problemas de sustentabilidade ambiental, dos quais se destacam os seguintes:

a) Portugal era, em 2001, o segundo país da União Europeia a consumir mais água per capita e o que menor percentagem de águas residuais tratava (DGATLP, 2002). Simultaneamente, a proteção dos solos e águas subterrâneas é o menor domínio de proteção ambiental do Estado (INE, 2001);
b) Nos últimos anos as despesas dos municípios na gestão dos resíduos têm sido o maior domínio de investimentos para proteção ambiental. No entanto, em 2001, das cerca de 4800 mil toneladas de resíduos recolhidas apenas 240 mil toneladas foram recicladas, vendidas ou cedidas (INE, 2001);

c) Em parte devido aos elevados níveis de conforto bioclimático do clima português, o consumo de energia per capita é o mais baixo da União Europeia, tal como as emissões de CO_2 per capita (DGATLP, 2002). No entanto, Portugal depende energeticamente de outros países pelo que a medição do seu desempenho ambiental, aparentemente bom no domínio energético, deve integrar emissões de CO_2 externas;

d) Em Portugal, de 1970 a 2000, o parque habitacional teve um acréscimo de 78%, o que permitiu superar a crónica carência habitacional (em 2001 existiam 5,36 milhões de habitações para 3,7 milhões de famílias; SEH, 2000). No entanto, este parque habitacional, que consumiu importantes recursos e ocupa valioso solo urbano, possui uma qualidade construtiva deficiente, apresenta sinais de degradação e está parcialmente desocupado.

A influência da conjuntura internacional e a evidência de alguns problemas de sustentabilidade ambiental no território nacional levou a que também em Portugal o tema da sustentabilidade seja recorrente no discurso político e no meio científico. Este facto ficou bem evidente com a apresentação em 2002 da "Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável", que elegeu como segunda linha de orientação a promoção de uma política de ordenamento do território sustentável (Mourão e Pedro, 2004).

Uns dos primeiros sinais de que os poderes de decisão nacionais têm a intenção de desenvolver ações com vista a contribuir para um desenvolvimento mais sustentável em Portugal surge com a transposição da diretiva europeia da certificação energética (2002/91/CE), relativa ao desempenho energético dos edifícios e a entrada em vigor do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar (SCE), visando impulsionar a necessidade de conhecer e melhorar o desempenho energético e a qualidade do ar interior dos edifícios, bem como permitir aos futuros utentes obter informação sobre os consumos de energia. O critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, passa a integrar o conjunto dos demais aspetos importantes para a sua caracterização, condicionando assim todas as fases no ciclo de vida das construções – planeamento, projeto, construção, manutenção, renovação e/ou demolição – sendo-lhes impostas maiores exigências ambientais e melhores eficiências energéticas.

Por outro lado, estas preocupações ambientais estão relacionadas com o consumo de recursos, emissões de poluentes, saúde e biodiversidade, e constituem um novo paradigma cujo desafio principal é o de contribuir para a qualidade dos ambientes construídos e qualidade de vida dos seus habitantes, para o desenvolvimento económico sustentável e para a equidade social.

1.2. Motivação e objetivos da dissertação

Nos anos 90, Lopes (1994) afirmou que o custo cada vez mais elevado das parcelas de terreno, especialmente nos meios urbanos, e a falta, em muitos casos, de uma prática urbanística equilibrada, nomeadamente quanto à distribuição de espaços verdes, poderiam ter sido fatores que conduziram ao recurso dos terraços dos edifícios para a realização de jardins ou zonas verdes. Mas esta preocupação de equilíbrio entre os elementos construídos e os elementos vegetais remonta à antiguidade, onde a utilização de coberturas verdes e sistemas vegetais vivos nas construções eram uma prática comum. O mesmo autor citando Bloud (1982), refere que esse equilíbrio é conseguido quando a razão entre as zonas verdes e a área da região onde essas zonas estão implantadas for da ordem de 1/10 e 1/3, respetivamente para zonas suburbanas e urbanas.

Atualmente as coberturas verdes, que vão começando a surgir progressivamente no edificado, constituem-se como um elemento importante para a transformação das cidades atuais em ambientes urbanos mais sustentáveis, na medida em que contribuem para o bom desempenho dos edifícios e para o aumento da qualidade de vida dos seus habitantes, desde que sejam ajustadas à zona e situação climática especifica de cada localização.

A presente dissertação pretende responder a esta questão através da elaboração de um Manual de Boas Práticas para a conceção, instalação e manutenção de soluções construtivas de coberturas verdes, procurando clarificar os requisitos e as especificações técnicas numa visão integrada e estrutura, na perspetiva de contribuir para um melhor conhecimento sobre a tecnologia.

A dissertação, na sequência de uma monografia efetuada no âmbito da disciplina de Construção de Edifícios, lecionada pelo professor Jorge de Brito sob o título “Coberturas ajardinadas”, será complementada com maior precisão com aspetos do estado da arte, analisando a tecnologia construtiva em si mas também as vantagens decorrentes da utilização deste tipo de cobertura em climas mediterrânicos e, em particular, de forma aplicada ao caso Português.

A investigação tem por base o estudo de diretrizes internacionais sobre conceção, instalação e manutenção de coberturas verdes, nomeadamente o documento da FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau), “Diretrizes para o Planeamento, Instalação e Manutenção de Coberturas Verdes” (FLL, 2008). Este documento tem sido utilizado como base para os manuais de boas práticas das soluções construtivas de coberturas verdes em diversos países, nomeadamente Suiça, Áustria, Reino Unido, Estados Unidos da América, Canada e Japão (GRO, 2011).

1.3. Metodologia proposta

A metodologia proposta para o desenvolvimento da dissertação compreende as seguintes etapas: a) Revisão de literatura; b) Contato com projetistas, fabricantes e fornecedores da tecnologia; c) Análise de casos de estudo. As duas primeiras etapas decorreram em simultâneo e constituem-se como a base para a elaboração do manual de boas práticas. Na terceira etapa, através da caracterização e análise de dois casos de estudo, pretende-se verificar a aplicação prática do manual de boas práticas.

a) Revisão de literatura

Numa primeira abordagem, pretende-se perceber a evolução histórica, dar a conhecer as diferentes tipologias, analisar os custos e benefícios inerentes à sua aplicação e apresentar algumas das politicas de incentivo praticadas por diversos países. Em seguida apresenta-se uma análise crítica dos requisitos construtivos específicos, dos problemas e dos contributos para o bom desempenho na procura da sustentabilidade e integração arquitetónica, através do estudo das características materiais e construtivas, tipos de soluções, normas, regulamentos e manuais. A documentação consultada pode ser encontrada em livros, publicações, artigos científicos, sítios de Internet, normas, teses de doutoramento e dissertações de mestrado. Entre os autores mais citados na literatura consultada destacam-se Nigel Dunnett e Noël Kingsbury (2008).

- Publicações, organizações e sítios de Internet consultados:
  - FLL (2008);
  - GRO – Green Roof Organisation (2011);
  - Toronto Green Roof Technical Advisory Group (2011)
  - Earth Pledge (2005).
  - IGRA – International Green Roof Association. *http://www.igra-world.com*
  - ScienceDirect. *http://www.sciencedirect.com*
  - Livingroofs.org. *http://www.livingroofs.org*
  - Urban Habitats. *http://www.urbanhabitats.org*

b) Contato com projetistas, fabricantes e fornecedores da tecnologia

A recolha de informação junto de projetistas, fabricantes e fornecedores da tecnologia pretende complementar a informação recolhida pelas vias descritas na alínea a) através de documentação sobre produtos existentes no mercado, entrevistas e cursos de formação sobre a prática no panorama nacional. Entre as empresas a atuar no mercado português destaca–se a ZinCo® (empresa alemã líder no mercado internacional) representada em Portugal pela Neoturf. Os seus produtos e sistemas estão devidamente homologados e especificados com base nas diretrizes da FLL (2008).

c) Análise de casos de estudo

Na análise de casos de estudo pretende-se realizar a verificação prática do Manual de Boas Práticas através da aplicação a dois casos de estudo. No primeiro procura-se verificar as boas práticas de uma cobertura verde

num edifício de construção recente. No segundo caso de estudo propõe-se verificar a viabilidade da reabilitação de uma cobertura existente utilizando um cobertura verde, seguindo os requisitos do manual de boas práticas. Estes casos foram selecionados por forma a ampliar o estudo desta tecnologia, tanto ao nível da construção nova como também sobre as suas possibilidades e potencialidades na adaptação de coberturas tradicionais.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em 5 Capítulos: Introdução e Enquadramento; Estado da Arte; Manual de Boas Práticas; Análise e Verificação Prática de Casos de Estudo; e Conclusões.

No presente capítulo, de Introdução e Enquadramento, foram expostos os fundamentos principais que motivaram a realização deste documento, enunciando os objetivos a que se propõe e a medologia de investigação seguida para os alcançar.

No Capítulo seguinte (2), relativo ao Estado da Arte, define-se de uma forma geral o conceito de coberturas verdes, procurando para tal entender o seu enquadramento histórico desde a antiguidade até aos nossos dias. A seguir, são apresentadas as principais tipologias de coberturas verdes descritas na literatura e a normalização e as especificações técnicas que existem atualmente e, que de certa forma, pretendem contribuir para o desenvolvimento desta tecnologia. São ainda enunciados os diversos benefícios que advém da implementação de coberturas verdes no topo dos edifícios, complementando com estudos científicos recentes que os comprovam. Neste ponto apresentam-se ainda as principais barreiras e desvantagens apontadas para a fraca implementação em alguns países e as principais estratégias e políticas de incentivo para que esta tecnologia de construção passiva se desenvolva de forma massiva. Por fim, são abordados os aspetos para o seu fraco desenvolvimento em países de clima mediterrânico como Portugal.

No Capítulo 3 – Manual de Boas Práticas – desenvolve-se um instrumento que procura promover o conhecimento sobre a tecnologia. Apoiado na literatura existente, principalmente nas mais recentes diretivas internacionais que servem de apoio à prática de coberturas verdes, pretende-se desenvolver um Manual de Boas Práticas para a conceção, instalação e manutenção de coberturas verdes, aplicado ao caso Português. Em primeiro lugar, são abordados os aspetos mais importantes para a definição da solução construtiva: Camadas funcionais; Configuração da solução construtiva e sistemas comerciais; Estrutura resistente; Clima; e Desempenho térmico. Em segundo lugar, serão analisados os requisitos específicos desta tecnologia construtiva numa perspetiva de apoio ao planeamento, instalação e manutenção destes sistemas de revestimento de cobertura, divididos em 2 subcapítulos: Planeamento, viabilidade e implementação; e Gestão e manutenção.

No Capítulo 4 efetua-se uma análise e verificação prática do Manual de Boas Práticas aplicada a dois casos de estudo. No primeiro, pretende-se verificar as boas práticas e/ou propor possíveis melhorias numa cobertura verde de um edifício de construção recente. No segundo caso de estudo procura-se, com base nos requisitos construtivos dos sistemas de coberturas verdes apresentados ao longo do Capítulo 3, avaliar a viabilidade de implementação desta tecnologia numa cobertura plana existente de um edifício de construção antiga. A proposta destes dois casos visa ampliar o estudo e o espectro de implementação de coberturas verdes em ambientes urbanos e obter uma perspetiva abrangente das potencialidades da tecnologia. A análise e a verificação dos casos de estudo apresentados serão orientadas tendo por base o desenvolvimento de fichas de caracterização e verificação aplicadas aos dois casos. Esta abordagem pretende, de uma forma sistemática, registar as principais características dos edifícios e das coberturas alvo do estudo e recolher a informação tão completa quanto possível a fim de apreciar o potencial de aplicabilidade do Manual de Boas Práticas.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões finais desta investigação procurando perceber se os objetivos propostos foram alcançados. Por um lado, compreender em que medida o Manual de Boas Práticas desenvolvido se pode tornar numa ferramenta útil de aplicação ao caso Português. Por outro, procura-se perceber se a tecnologia de coberturas verdes pode ser uma alternativa válida, por exemplo, em relação às que se verificam nos casos de estudo apresentados e que benefícios acarretam para a melhoria dos ambientes urbanos construídos e da qualidade de vida em Portugal. Por fim, serão enunciadas as perspetivas de desenvolvimento futuro.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Definição de coberturas verdes

Coberturas Verdes (green roofs) consistem no desenvolvimento de um revestimento vegetal, sobre uma superfície edificada, cultivado de forma intencional ou através da formação de habitats para que este se auto-estabeleça. As coberturas verdes podem desenvolver-se em coberturas planas ou inclinadas, acessíveis ou de acesso limitado. Na literatura consultada são também referenciadas como coberturas ajardinadas (roof gardens), coberturas vivas (living roofs), coberturas vegetais (vegetated roofs) e eco-coberturas ou coberturas ecológicas (ecoroofs). Por exemplo, as coberturas ajardinadas referem-se sobretudo às tipologias intensivas, e as coberturas ecológicas referem-se sobretudo às tipologias de caráter mais extensivo. As coberturas vivas – termo recentemente utilizado no Reino Unido para promover a ideia de que a vegetação em coberturas nem sempre se mantém verde – podem referir-se tanto ao tipo intensivo como extensivo.

Nesta dissertação optou-se por utilizar o termo Coberturas Verdes, que mais vezes é mencionado para referir os sistemas construtivos de revestimento vegetal, abrangendo na sua definição todas as tipologias (capítulo 2.3.), tanto os jardins de cobertura, com vegetação mais ornamental, como as tipologias com vegetação que se auto-propaga e que apresenta diferentes colorações ao longo do ano.

Segundo Peck e Kuhn (2000), cobertura verde é um espaço verde criado pela adição de camadas de substrato vegetal e plantas sobre um sistema de cobertura tradicional. Mas não deve ser confundido com o tradicional jardim de cobertura, onde o cultivo é feito em recipientes independentes, localizados num terraço ou numa cobertura acessíveis. No essencial, consiste num sistema construtivo de revestimento de cobertura desenhado para permitir o crescimento de vegetação no topo dos edifícios enquanto protege e mantém a integridade da estrutura subjacente (Earth Pledge, 2005). Este sistema é elaborado através da seleção de materiais específicos com funções interdependentes que, tal como na Fig. 2.1.1 da ZinCo® (2013a), pretendem reproduzir a natureza nas coberturas. A especificação e composição de cada componente varia segundo o tipo e função de cada projeto. Os requisitos e as especificações técnicas são analisados de uma forma mais aprofundada no capítulo 3, mas em termos genéricos, a construção de uma cobertura verde baseia-se na adição das seguintes camadas:

1. Plantas, selecionadas especialmente em função do projeto;
2. Substrato de crescimento que providencia os nutrientes e a estrutura de suporte às plantas;
3. Filtro geotêxtil que retém os nutrientes e as partículas finas do substrato;
4. Camada drenante que pode ter dupla função, escoar o excesso de águas pluviais e reter parte das mesmas para futura utilização pelas plantas;
5. Camada de proteção que protege o sistema de impermeabilização de perfurações acidentais (por exemplo, o isolamento térmico pode ter esta função);
6. Sistema de impermeabilização, resistente às raízes da vegetação, que se coloca sobre a estrutura do edifício para garantir a sua estanquidade;
7. Estrutura de suporte, compatível com o sistema de cobertura verde.

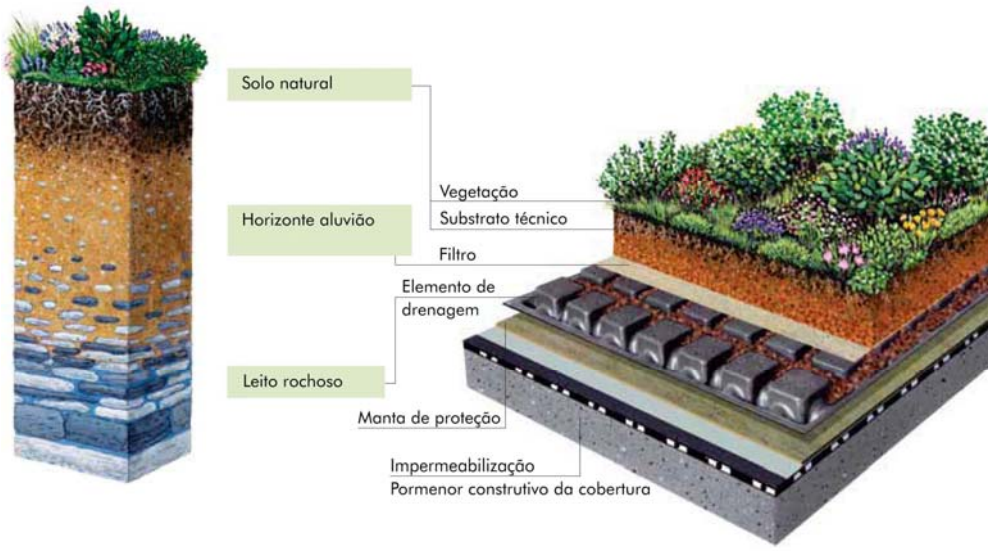


Fig. 2.1.1 – Reprodução da natureza nas coberturas. (Fonte: ZinCo®, 2013a)

O desempenho ecológico de cada cobertura verde está intrinsecamente associado às funções individuais dos seus componentes. Uma cobertura verde saudável e bem estabelecida deve reter água, arrefecer o ar e isolar o edifício (Earth Pledge, 2005), sendo o seu desempenho efetivo um dos assuntos que merece estudo e análise em particular para climas como o de Portugal.

Os sistemas de coberturas verdes podem ser usados em diversas aplicações, sejam elas industriais, serviços administrativos, comerciais ou residenciais. Na Europa têm sido utilizados muito para além da necessidade de responder às funções normais de uma cobertura de edifício, de proteção contra os agentes atmosféricos (chuva, sol, vento e neve). Kosareo e Ries (2007) referem-se às coberturas verdes como uma técnica passiva que pode ser usada num contexto urbano para responder às questões ambientais. Castleton et al (2010), referindo-se a alguns estudos, acrescentam que este tipo de sistema construtivo oferece aos edifícios e às suas envolventes alguns dos seguintes benefícios: a gestão das águas pluviais (Mentens et al, 2006 e Stovin et al, 2007); a melhoria da qualidade das águas de escorrência (Berndtsson et al., 2009); a melhoria da qualidade do ar urbano (Yang, et al, 2008); o prolongamento da vida útil da própria cobertura (Teemusk e Mander, 2009); a mitigação do efeito de ilha de calor urbano (Banting et al, 2005). Reforçando simultaneamente o interesse arquitectónico e potenciando o desenvolvimento da biodiversidade local (Köhler, 2003).

2.2. Enquadramento histórico

A preocupação de equilíbrio entre os elementos construídos e os elementos vegetais remonta à antiguidade. A utilização de coberturas ajardinadas e sistemas vegetais vivos nas construções era uma prática comum como o demonstram alguns exemplares que chegaram até aos dias de hoje. Wells e Grant (2004) referem que nos climas mais frios a tradição de utilizar coberturas verdes provém provavelmente da Idade do Bronze, continuando até aos nossos dias; da Idade do Ferro, há cerca de 2000 anos, sobreviveram no Reino Unido

muitos exemplos de sofisticadas estruturas protegidas de terra e com cobertura de turfa. A utilização destes materiais na construção deveu-se essencialmente ao facto de estarem disponíveis no local e serem robustos e altamente isolantes.

Nos climas mais quentes, as coberturas verdes existem desde as antigas civilizações dos vales dos rios Tigre e Eufrates (Wells e Grant, 2004). É o caso dos jardins da Babilónia (Fig. 2.2.1 e 2.2.2) do Palácio do Rei Nabuchodonosor II, do século VI a.C., que comportava, segundo referem os arqueólogos, terraços ajardinados com uma área de 1200 a 1800m2, com espessuras da camada de terra vegetal variando entre 1 a 2m, consoante o tipo de vegetação plantada (Lopes, 1994), suportados por arcos de pedra a mais de vinte metros acima do chão, e irrigados desde o rio Eufrates por um complexo sistema mecânico (Wells e Grant, 2004).

Fig. 2.2.1 – Representação dos jardins suspensos da Babilónia de Maarten van Heemskerck (1498-1574). (Fonte: Jim, 2010)

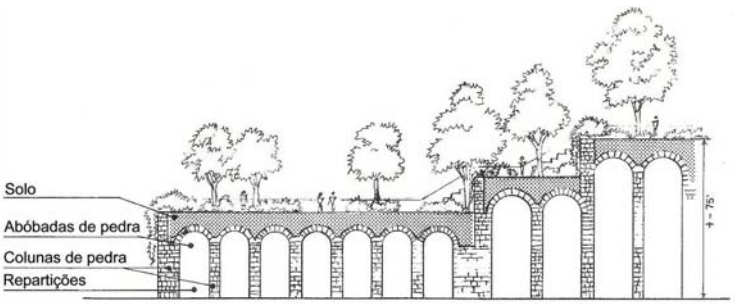


Fig. 2.2.2 – Desenho dos Jardins Suspensos da Babilónia baseado nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey. Osmundson, 1999. (Fonte: Costa, 2010)

Do Renascimento chegam-nos exemplos como a Torre Guinigi (Fig 2.2.3 e 2.2.4) em Lucca, Itália, que suporta na sua cobertura a 36,50m de altura, 7 Carvalhos, plantados sobre canteiros de tijolo (61cm) e regados por um sistema de rega subterrâneo, e as coberturas ajardinadas do Palácio Piccolomini, Pienza, Itália, e do Mosteiro do Mont Saint Michel, Normandia, França (Costa, 2010).

Fig. 2.2.3 – Vista exterior da Torre Guinigi em Lucca, Itália. Foto de Alessandro Mariani. (Fonte: Mariani, 2006)

Fig. 2.2.4 – Vista da cobertura da Torre Guinigi em Lucca, Itália. Foto de clickz.it. (Fonte: Clickz.it, 2013)

Mais recentemente, na década de 20 do século XX, Le Corbusier, Mies Van der Rohe e Frank Lloyd Wright, fundadores do movimento moderno na arquitetura, entenderam as coberturas em terraço como um avanço tecnológico e estético e defenderam o conceito de devolução do terreno ocupado pela construção à natureza. Nessa época, é dada preferência às coberturas em terraço em detrimento das inclinadas, não só por proporcionarem o uso coletivo por parte de todos os ocupantes do edifício, mas também por simplificarem os processos construtivos, beneficiando com o aparecimento de novos materiais construtivos e impermeabilizantes e com a consequente redução de custos na construção civil (Batista, 2004). A Fig. 2.2.5 representa um desses exemplos desenvolvido pelo arquiteto Le Corbusier, onde as coberturas planas com revestimento vegetal vivo do Mosteiro de La Tourette são utilizadas para passeios e meditação.

Durante as década 1950 e 1960 começou a desenvolver-se na Alemanha a tecnologia moderna de coberturas verdes, a partir dos estudos e investigações realizadas por Reinhard Bornkamm. Estes trabalhos tiveram como ponto de partida as coberturas verdes "não intencionais" de estruturas de madeira com impermeabilização em asfalto, construídas em 1900. Para prevenção contra incêndios, a membrana asfáltica foi coberta com uma fina camada de areia e gravilha, que ao longo dos anos foi atraindo vegetação espontânea (Werthmann, 2007). Um público ambientalmente consciente, a pressão ecológica de grupos radicais e o interesse da comunidade científica, combinada com o apoio político deu o impulso necessário para começar a instalar coberturas verdes na década de seguinte, entre 1960 e 1970.

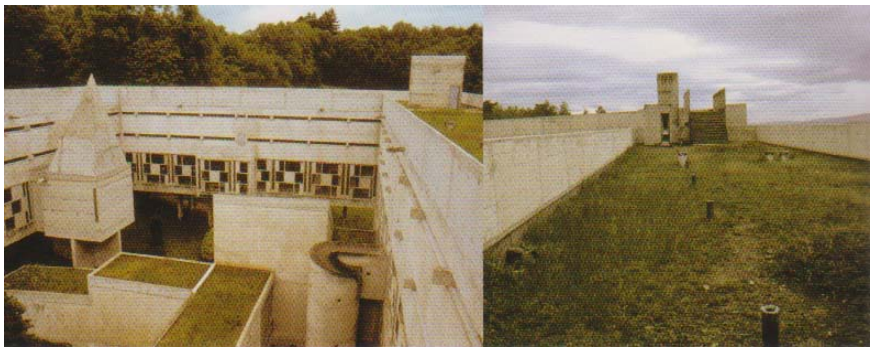


Fig. 2.2.5 – Coberturas planas com revestimento vegetal vivo do Mosteiro de La Tourette, do Arq.º Le Corbusier.
(Fonte: Werthmann, 2007)

Fundada em 1975, a FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Instituto de investigação, desenvolvimento e construção da paisagem) pretendia estudar a tecnologia de vegetação e em 1978 com a criação de um grupo de trabalho, inspirado nos estudos de Bornkamm, deu início a um conjunto de investigações que propunha examinar esta tecnologia considerando duas tipologias, extensiva e intensiva, descrevendo essencialmente a quantidade de manutenção exigida por cada tipo de vegetação e o seu grau de sustentabilidade (Werthmann, 2007).

Em 1982 a FLL emite a primeira diretiva para o planeamento, instalação e manutenção de coberturas verdes, descrevendo os seus princípios urbanos, ecológicos e económicos básicos, que ainda hoje se mantêm em utilização (Werthmann, 2007). A partir deste documento muitas das dificuldades técnicas foram superadas e

diversas empresas especializadas em coberturas verdes foram criadas, permitindo o desenvolvimento da tecnologia em larga escala (Fig. 2.2.6). Esta diretiva foi sofrendo atualizações, sendo que a última data de 2008 (FLL, 2008).

Fig. 2.2.6 – Todas as coberturas de edifícios de escritórios de Estugarda, Alemanha, suportam vegetação. ZinCo®.
(Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

2.3. Tipologias de coberturas verdes

Segundo a FLL (2008), as coberturas verdes dividem-se em três tipos diferentes, em função do uso, dos fatores construtivos e sobretudo do grau de manutenção exigido em cada um. Denominam-se por **Intensiva, Intensiva simples e Extensiva** (Fig. 2.3.1) e desempenham um papel fundamental na determinação do tipo de plantas a selecionar, bem como do resultado final pretendido. Dunnett e Kingsbury (2008), referem ainda um conjunto de soluções consideradas híbridas (Fig. 2.3.2) tais como, **Semi-extensiva**, **Cobertura verde para Biodiversidade**, e **Cobertura castanha (*Brown Roofs)***.

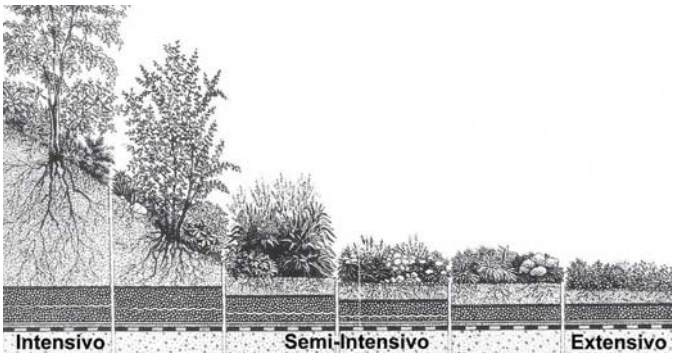


Fig. 2.3.1 – Esquema representativo das tipologias Intensiva, Intensiva simples e Extensiva. Adaptado de Osmundson, 1999.
(Fonte: Costa, 2010)

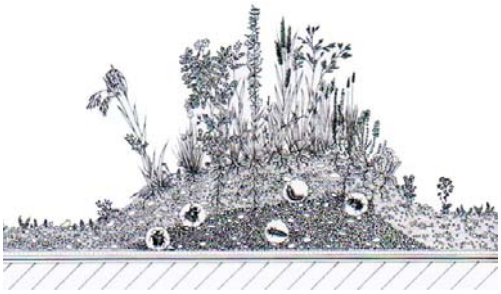


Fig. 2.3.2 – Esquema de uma solução híbrida. Adaptado do Desenho de Sibylle Erni.
(Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

2.3.1. Intensiva

A Fig. 2.3.3 apresenta esta tipologia, também denominada por cobertura ou terraço jardim, que consiste no cultivo de plantas perenes, gramíneas, bolbos, anuais, arbustos e árvores ocasionais (FLL, 2008), podendo mesmo suportar recursos hídricos. Este tipo de cobertura verde é habitualmente acessível às pessoas e utilizada como área de lazer. Exige camadas profundas de substrato de crescimento, no mínimo 15cm (Dunnett

e Kingsbury, 2008) podendo mesmo atingir valores da ordem de 2m, no caso de serem plantadas árvores de grande porte (FLL, 2008), determinando cargas elevadas sobre a estrutura de suporte. É necessária uma manutenção regular com especial atenção para a irrigação e fertilização. Estes sistemas construtivos são os mais dispendiosos de construir e têm um nível elevado de custos de funcionamento.

Fig. 2.3.3 – Cobertura intensiva do edifício Daimler Chrysler Complex, Berlim, Alemanha. Foto de Vincent Mosch.
(Fonte: Earth Pledge, 2005)

2.3.2. Intensiva simples

De uma forma geral envolve o uso de vegetação rasteira, como gramíneas, plantas perenes e arbustos (FLL, 2008), numa cobertura acessível, como a apresentada na Fig. 2.3.4. Em comparação com uma cobertura do tipo intensiva, tem algumas limitações de conceção e de utilização devido às camadas mais finas de substrato de crescimento, normalmente entre 10 e 20cm, com menores cargas sobre a estrutura de suporte. As plantas cultivadas requerem manutenção regular (Dunnett e Kingsbury, 2008) como irrigação e fertilização. Estes sistemas são portanto mais baratos de construir e manter que os do tipo intensivo. Dependendo do objetivo final, pode ainda ser tolerada a presença de vegetação intrusiva, como herbáceas e musgos (FLL, 2008).

Fig. 2.3.4 – Cobertura intensiva simples no edifício da Câmara Municipal de Chicago. Foto de Conservation Design Fórum®.
(Fonte: Earth Pledge, 2005)

Fig. 2.3.5 – Cobertura extensiva do Schiphol Plaza no Aeroporto de Amesterdam. Foto de XEROFLOR®.
(Fonte: Earth Pledge, 2005)

2.3.3. Extensiva

Consiste na utilização de vegetação aparentemente natural com muito poucas exigências quer de manutenção quer de propagação (FLL, 2008). Uma cobertura verde do tipo extensiva, como a apresentada na Fig. 2.3.5, tem um substrato de crescimento com pouca espessura, o que limita a diversidade de plantas apropriadas para o seu cultivo, utilizando-se normalmente plantas nativas ou integradas ao clima do local. Por outro lado têm de ter a capacidade de resistir às condições climáticas extremas e de se regenerarem facilmente. É utilizada vegetação do tipo musgos, suculentas (ver capítulo 3.3.7.3), como as do género *Sedum* da família das *Crassulácea* (amplamente utilizadas nas coberturas verdes alemãs), plantas herbáceas e gramíneas, que podem ser complementadas com bolbos e tubérculos. Estes sistemas não são normalmente irrigados e requerem uma manutenção mínima. Destinam-se sobretudo a ser auto-sustentáveis. No caso de se pretender um determinado efeito estético, por exemplo um determinado padrão ou desenho de vegetação com flores e suculentas, poderá ser necessário fertilizar as plantas necessárias para esse resultado. Em comparação com os tipos de cobertura verde anteriores, a espessura do substrato de crescimento é relativamente mais fina, entre 2 e 15cm, reduzindo o acréscimo de carga extra sobre a estrutura de suporte (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Regra geral este tipo de cobertura verde não é difícil de implementar e manter o que se traduz em reduções significativas nos custos de instalação e manutenção. O acesso é limitado, sendo utilizado apenas por motivos ecológicos, conforto visual e proteção.

2.3.4. Soluções híbridas

No entanto Dunnett e Kingsbury (2008), referem que as classificações anteriores, apesar de bastante úteis em sentido amplo, são bastante restritivas, alegando não existir razões para que não se possa combinar características das versões intensivas e das versões extensivas numa única solução de cobertura verde.

Dunnett e Kingsbury (2008) constatam que existe um grande potencial no uso dos sistemas extensivos em coberturas acessíveis, combinando herbáceas e arbustos de maior porte em contentores estrategicamente colocados, criando coberturas ajardinadas muito mais sustentáveis que as tradicionalmente conhecidas. A temática ecológica pode ser estendida ainda mais através de reciclagem de água, armazenamento de água e aproveitamento da energia solar e eólica disponíveis em abundância no nível das coberturas dos edifícios. Promover a fauna, a biodiversidade e os habitats não tem de ser restrito a coberturas invisíveis e inacessíveis – mais uma vez, existe muito potencial para abordagens criativas que maximizem os benefícios tanto para as pessoas e como para os animais selvagens. Os mesmos autores referem-se ao futuro das coberturas verdes como um futuro híbrido, em que as melhores soluções e características das diferentes tipologias serão combinadas para criar nos topos dos edifícios ambientes sustentáveis em todos os contextos.

O conceito de cobertura verde **Semi-extensiva**, representado na Fig. 2.3.6, utiliza a mesma filosofia – mínima manutenção e pouca ou nenhuma irrigação e fertilização – das coberturas extensivas com substratos ligeiros, mas com camadas mais profundas de substrato de crescimento, entre 10 e 20cm e, portanto, permitindo uma gama maior e mais diversificada de plantas a serem cultivadas (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Fig. 2.3.6 – Cobertura semi-extensiva do edifício ASLA, Washington, D.C. (Fonte: Werthmann, 2007)

Fig. 2.3.7 – Cobertura castanha do edifício Laban Dance Center, Londres. Substrato à base de agregados reciclados do próprio local. (Fonte: Dusty, 2009)

Por outro lado, o conceito de **cobertura verde para Biodiversidade** *(biodiversity roof)*, proveniente da Suiça, concentra-se principalmente na criação de habitats semi-naturais nos topos dos edifícios. Surge como resposta à omnipresença dos muito finos e ligeiros sistemas de cobertura de *Sedum* e a falta de identidade local e regional dessas tecnologias (Dunnett e Kingsbury, 2008). A composição é similar à de uma cobertura extensiva, mas é especialmente desenhada para a criação de habitats que atrairão flora e fauna particulares ao topo dos edifícios, replicando o substrato do terreno original ou melhorando as características do anterior habitat.

Coberturas castanhas *(Brown roof)*, representadas na Fig. 2.3.7, são os sistemas de coberturas que usam "substratos urbanos" como pedaços de tijolo e betão, areias, cascalhos e subsolos (provenientes do próprio local de implantação dos edifícios). Este tipo de coberturas tem espessuras variáveis de substratos, não tão finos e ligeiros como nos sistemas extensivos, normalmente entre 10 e 15cm. A sua superfície não é plana, mas moldada em pequenos montículos formando "mini-topografias" para maximizar a variedade ecológica (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Ainda dentro das soluções híbridas, Grant (2006), considera como coberturas verdes os **edifícios protegidos com terra** *(building-integrated habitat)* e os **viadutos selvagens** *(wild overpass)*. Estas tipologias são desenhadas para harmonizar as estruturas construídas com o seu entorno permitindo de certa forma a continuidade da fauna e flora sobre elas.

Quadro 2.1 – Síntese da caracterização dos tipos de cobertura verde (adaptado de IGRA, 2013; Dunnett e Kingsbury, 2008)

	INTENSIVA	INTENSIVA SIMPLES	EXTENSIVA	HÍBRIDA
Manutenção	Elevada	Média - Baixa	Baixa (anual)	Baixa (anual)
Irrigação	Regular	Periódica	Não exigida - Baixa	Não exigida - Baixa
Variedade de Plantas	Relvado, Plantas Perenes, Arbustos e Árvores.	Herbáceas, Gramíneas, Plantas Perenes e Arbustos.	Musgos, Seduns, Herbáceas e Gramíneas.	Variedades endémicas de Musgos, Seduns, Herbáceas e Gramíneas.
Altura do sistema construtivo	150 - 400 mm (edificios); > 400 mm (estruturas enterradas).	120 - 250 mm	60 - 150 mm < 60 mm (variedade de plantas reduzida)	Variável entre 60 - 200 mm
Peso (de saturação, incluindo a vegetação)	180 - 500 kg/m^2 (em média); > 500 kg/m^2 (depende do tipo e da profundidade do substrato).	120 - 200 kg/m^2	60 - 150 kg/m^2 40 - 60 kg/m^2 (muito finos e leves)	Variável entre 60 - 200 kg/m^2
Custo	Elevado	Médio	Baixo	Médio - Baixo
Utilização	Actividades de bem-estar e lazer/convívio; Biodiversidade	Biodiversidade e amenidades	Protecção e funções ecológicas.	Protecção e funções ecológicas. Biodiversidade e amenidades
Desempenho energético	Elevado	Elevado - Médio	Médio - Baixo	Médio - Baixo

2.4. Normalização e especificações

Apenas alguns países têm regulamentos e diretrizes que se aplicam especificamente às Coberturas Verdes. Os mais antigos que estão publicados são as "Diretrizes para o Planeamento, Instalação e Manutenção de Coberturas Verdes" da FLL (2008), que incluem os tipos de cobertura verde, os vários tipos de vegetação, os requisitos construtivos e procedimentos de instalação, conservação e manutenção. O GRO (2011) refere que este documento tem sido utilizado como base para os manuais de boas práticas de soluções construtivas de coberturas verdes em diversos países: Suiça, Áustria, Reino Unido, Estados Unidos da América, Canada e Japão.

Apesar de não abrangerem climas similares ao de Portugal, as especificações apresentadas podem servir de referência ao caso Português, visto que os materiais e a forma como são aplicados nas soluções construtivas são semelhantes, independentemente das condições climáticas de cada localização. A sua adaptação será sobretudo ao nível dos aspetos diretamente relacionados com os fatores clima (capítulo 3.2.4.) e desempenho térmico (capítulo 3.2.5.), como a gestão das águas pluviais (capítulo 3.3.6.) e o desempenho da vegetação (capítulo 3.3.7.). Em Espanha, por exemplo, as diretrizes da FLL (2008) serviram de base à criação de um conjunto de Normas Técnicas de Jardins e Paisagismo (NTJ) aplicadas a coberturas verdes cuja mais recente, e que abrange as tipologias intensiva, intensiva simples e extensiva, são as NTJ 11C: 2012 Cubiertas verdes (FJiP, 2013).

Segundo a IGRA (2013), estas diretrizes de coberturas verdes devem ser complementadas por normas e regulamentos nacionais vigentes. Em conjunto deverão responder a questões técnicas relativas à :

- Construção do edifício (por exemplo, a capacidade de carga da estrutura resistente, a proteção contra a ação do vento, proteção contra incêndio, etc);
- Impermeabilização e drenagem da cobertura;
- Construção de jardins e espaços verdes (por exemplo, tipo de solo e plantas, mistura de sementes, conservação e manutenção, etc.);
- Segurança e proteção contra quedas em coberturas de edifícios altos.

Marcação CE

A marcação CE foi estabelecida a partir da Diretiva Comunitária dos Produtos das Construção (DPC) – Diretiva 89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1988, alterada pela Diretiva 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993 [(1)], como um parâmetro importante de uniformização da qualidade dos bens transacionados entre os Estados membros da União Europeia (UE). Segundo o LNEC (2013), a aposição da marcação CE nos produtos é a evidência dada pelo fabricante de que esses produtos estão conformes às disposições das diretivas comunitárias que lhes são aplicáveis, permitindo-lhes a sua livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE).

No caso dos sistemas de coberturas verdes, somente em Junho de 2013 se emitiu, com o número 13/0668 (Fig. 2.4.1), a primeira Aprovação Técnica Europeia (ETA – European Technical Approval) para soluções construtivas de coberturas verdes (ZinCo®, 2013b). Os critérios de avaliação foram definidos pela Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA – European Organisation for Technical Approval), da qual é membro o LNEC, em conjunto com o DIBt (Deutches Institut für Bautechnik; APPL, 2013).

Fig. 2.4.1 – Aprovação Técnica Europeia para soluções de coberturas verdes. (Fonte: ZinCo®, 2013b)

[(1)] A 9 de Março do corrente ano o Parlamento e o Conselho Europeu aprovaram o novo Regulamento de Produtos da Construção (305/2011) que a partir de 1 de Julho de 2013 irá substituir de forma integral a Directiva dos Produtos da Construção 89/106/CEE, já anteriormente alterada pela Directiva 1993/68/EEC.

Os ensaios utilizados referem-se a sistemas de cobertura verde com uma vida útil prevista de 25 anos. Atualmente não existem métodos de ensaio para a qualidade da vegetação utilizada. O mesmo se aplica para os sistemas de cobertura verde instalados em declives acentuados, sendo que só as coberturas com uma inclinação até 15° estão contabilizadas. São avaliadas as componentes funcionais das tipologias de cobertura verde intensiva, intensiva simples e extensiva, segundo os seguintes critérios (APPL, 2013):

a) Barreira anti-raízes – resistência à penetração de raízes;
b) Camada de proteção – eficiência da proteção, resistência à tração e durabilidade;
c) Camada drenante – capacidade de escoamento de água e resistência à compressão;
d) Camada filtrante – resistência à tração e tamanho da abertura;
e) Substrato de crescimento – tamanho de grão, capacidade de saturação de água, permeabilidade à água, componentes orgânicos, nutrientes e salinidade.

Segundo a APPL (2013), as especificações inscritas no documento da FLL (2008) serviram de base a estes critérios, que incluem a resistência da barreira anti-raízes, o coeficiente de escoamento, proteção contra incêndios, e diferentes características dos substratos de crescimento. A introdução do sistema de marcação CE à escala europeia para soluções construtivas e materiais de coberturas verdes representa vantagens significativas a este mercado. Por um lado, os projetistas e construtores baseiam-se em critérios de qualidade standards em toda a UE, e por outro lado, os fabricantes garantem a qualidade dos seus produtos em todos os Estados membros sem a necessidade de uma certificação para cada um deles em particular (APPL, 2013).

2.5. Custos e benefícios

A utilização de sistemas de coberturas verdes pode gerar uma ampla gama de benefícios. Para Dunnett e Kingsbury (2008), alguns só funcionarão se um número relativamente grande de coberturas verdes forem instaladas numa determinada área e os seus benefícios só serão visíveis à escala de bairro ou de cidade, tal como na Fig. 2.5.1. Outros atuam diretamente sobre o edifício em particular. A maioria pode ser relacionada simultaneamente com aplicações de pequena escala bem como com aplicações de maior escala, comercial ou industrial. Estes benefícios podem ser classificados em três áreas principais: a economia, o meio ambiente e a amenidade e estética dos espaços sócio-comunitários, embora haja uma grande quantidade de cruzamentos entre estas categorias (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Fig. 2.5.1 – Benefícios das coberturas verdes à escala de bairro. ZinCo®. (Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

Peck e Kuhn (2000) salientam que uma forma útil de identificar essas diferenças, com a intenção de fomentar e promover a ideia de coberturas verdes (dependendo do público-alvo), pode passar por distinguir entre benefícios privados e públicos. Os benefícios privados, como a poupança nos custos de energia, extensão da vida útil da cobertura, as melhorias estéticas, são suscetíveis de promover o uso de coberturas verdes, como uma vantagem financeira ou pessoal para promotores e proprietários de edifícios particulares (Dunnett e Kingsbury, 2008). Os benefícios públicos, como a gestão das águas pluviais, a mitigação do clima urbano, a promoção da biodiversidade e dos habitats, fomentam a adopção de políticas e regulamentos de planeamento urbano por parte das autoridades locais e municipais para incentivar a construção de coberturas verdes a fim de melhorar a qualidade de vida e do meio ambiente, e promover a eficiência dos custos/benefícios para os contribuintes e cidadãos locais (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Renterghem e Botteldooreen (2011), num estudo sobre os efeitos acústicos das coberturas verdes, citam alguns estudos para referir que os benefícios económicos e ambientais têm sido bem reconhecidos pela comunidade científica. Os estudos científicos centram-se principalmente: no isolamento térmico, no consumo de energia dos edifícios e na redução dos efeitos de ilha de calor (Del Barrio, 1998; Niachou et al, 2001; Kumar e Kaushik, 2005; Takebayashi e Moriyama, 2007; Alexandri e Jones, 2007 e 2008; Fioretti et al, 2010; Feng et al, 2010); na gestão das águas pluviais (Villarreal e Bengtsson, 2005; Mentens et al, 2006; Palla et al, 2009; Berndtsson, 2010); na melhoria da qualidade do ar e no aumento da captação de dióxido de carbono (Yang et al, 2008; Getter et al, 2009); no aumento da biodiversidade em ambiente urbano (Schrader e Boening, 2006; Emilsson, 2008; Getter e Rowe, 2009); na avaliação económica e ambiental do ciclo de vida das coberturas verdes (Wong et al, 2003a; Saiz et al, 2006; Kosareo e Ries, 2007; Clark et al, 2008).

2.5.1. Benefícios económicos

Entre os benefícios económicos, destacam-se:

a) Eficiência energética – redução do custo de aquecimento e arrefecimento dos edifícios

Devido às propriedades térmicas dos sistemas de coberturas verdes (capítulo 3.2.5.1.) podemos considerar esta tecnologia como uma técnica passiva de eficiência energética na construção de edifícios. Contudo, Jaffal et al. (2012) referem que a eficácia das coberturas verdes no desempenho energético dos edifícios depende muito do clima. A melhoria do conforto térmico e a redução das necessidades de arrefecimento são mais eficazes em climas quentes. No entanto, uma redução significativa das necessidades de aquecimento pode ser observada nos climas frios. Nos climas quentes, as coberturas verdes podem aumentar as necessidades de aquecimento, mas esse aumento é menor quando comparado com a redução das necessidades de arrefecimento. No Quadro 2.2 verifica-se que na generalidade dos climas da Europa, as necessidades energéticas totais diminuem com a presença de coberturas verdes (Jaffal et al, 2012).

O bom desempenho térmico destas soluções construtivas está também associado ao aumento da eficiência dos sistemas de ventilação e de ar-condicionado. A redução das temperaturas interiores permite reduzir a fatura

energética. Peck et al. (1999) referem que qualquer redução de 0,5°C na temperatura interna permite reduzir até 8% dos custos de ar condicionado. Por exemplo, num estudo realizado em Toronto, Canada, num edifício de apenas 1 piso com uma cobertura verde com 10cm de substrato de crescimento, verificaram-se reduções de 25% nas necessidades de arrefecimento (Dunnett e Kingsbury, 2008). Por outro lado, Mankiewicz e Simon (2007) referem que a eficiência dos sistemas de AVAC depende da temperatura de entrada, e portanto o efeito de arrefecimento da temperatura na superfície exterior das coberturas produzido pelas soluções de cobertura verde permite aumentar a sua eficácia Jaffal et al. (2012).

Quadro 2.2 – Necessidades energéticas totais (de aquecimento e arrefecimento) em Atenas, La Rouchelle e Estocolmo (adaptado de Jaffal et al, 2012).

Cidade (País)	**Clima**	**Necessidades energéticas totais** (kWh /m^2/ano)	
		Cobertura convencional	Cobertura verde
Atenas (Grécia)	clima temperado mediterrânico	40,5	27,7
La Rouchelle (França)	clima temperado oceânico	38,5	36,2
Estocolmo (Suécia)	clima continental húmido	131,0	120,3

b) Aumento da vida útil da membrana de impermeabilização

Os resultados de diversos estudos demonstram que os sistemas de cobertura verde protegem as membrana de impermeabilização contra danos causados pelas amplitudes térmicas, como a fendilhação e delaminação, e contra os danos mecânicos. Liu e Baskaran (2003), num estudo realizado ao longo de 660 dias na cidade de Toronto, Canadá, onde se pretendia comparar uma cobertura com revestimento vegetal e outra exposta, constataram que, enquanto a temperatura ambiente apenas ultrapassou os 30°C em 10% dos dias, a membrana exposta superou esse valor em mais de metade do período de observação, sendo que ultrapassou os 50°C em 33% dos dias, e os 70°C em 2 desses dias, e a membrana sob a cobertura verde manteve a temperatura na maior parte do período de observação em cerca de 25°C, sendo que ultrapassou os 30°C em apenas 3% dos dias (Dunnett e Kingsbury, 2008). Na Europa, os estudos realizados sugerem que, no mínimo, as coberturas verdes duplicam a vida útil dos materiais de impermeabilização (Peck e Kuhn, 2000), dado particularmente importante para o caso português devido às amplitudes térmicas verificadas ao longo do ano.

c) Aumento da eficiência dos painéis fotovoltaicos e solares térmicos

O estudo de Kohler et al. (2007) em Berlim indica que os sistemas de coberturas verdes e de painéis fotovoltaicos são compatíveis quando integrados em conjunto, sendo que, em comparação com a energia gerada por painéis fotovoltaicos montados numa cobertura convencional revestida com membrana betuminosa, numa cobertura verde os painéis fotovoltaicos geram 6% mais energia (Dunnett e Kingsbury, 2008). Isto acontece devido ao efeito sinérgico entre os dois sistemas (ver capítulo 3.2.5.4.). A cobertura verde arrefece a temperatura ambiente em torno dos painéis aumentando a sua eficiência (Hui e Chan, 2011). Em simultâneo, a vegetação sob os painéis torna-se mais diversificada, porque a sombra dos painéis permite uma gama maior de plantas e as condições são menos severas para o crescimento das mesmas (Dunnett e Kingsbury, 2008). Krauter et al. (1999) referem que o aumento da temperatura provoca uma redução na eficiência dos painéis entre 0,4-0,5% por cada °C (Castleton et al, 2010). O efeito de evapotranspiração das

plantas e substratos de crescimento mantém as temperaturas na superfície da cobertura semelhantes à temperatura ambiente favorecendo o funcionamento dos painéis.

Fig. 2.5.2 – Cobertura verde na Alemanha com painéis fotovoltaicos e *Seduns.* (Fonte: Werthmann, 2007)

d) Potencial para adaptação de coberturas existentes

Castleton et al (2010), fazendo referência ao estudo de Nichaou et al. (2001), sobre a influência das coberturas verdes na poupança energética dos edifícios e do potencial para reabilitação, conclui que os edifícios mais antigos são geralmente pior isolados. Com a introdução de uma cobertura verde verificam-se mais poupanças do que em edifícios novos. Por outro lado, devido aos processos de construção bastante demorados, para fazer a diferença ao nível da quantidade de energia utilizada na construção e no combate às alterações climáticas, os edifícios existentes podem ser adaptados com coberturas verdes. Mas, para que tal aconteça, a cobertura existente deve ser capaz de suportar o peso da cobertura verde. O Quadro 2.3 apresenta os resultados obtidos no estudo de Nichaou et al. (2001) e representam as poupanças energéticas que se podem verificar em edifícios de escritórios na região de Atenas (tendo em conta as necessidades energéticas globais dos edifícios).

Quadro 2.3 – Potencial para poupança energética de uma cobertura verde em coberturas sem isolamento, isolamento moderado e isolamento forte, em edifícios de escritórios em Atenas (Grécia), verificados por Nichaou et al. (2001; adaptado de Castleton et al. 2010).

Tipo de isolamento	**Valor – *U*, sem cobertura verde** (W/m^2 K)	**Valor – *U*, com cobertura verde** (W/m^2 K)	**Poupança anual de energia de aquecimento** (%)	**Poupança anual de energia de arrefecimento** (%)	**Poupança anual de energia total** (%)
Isolamento forte	0,26 – 0,4	0,24 – 0.34	8 – 9	0	2
Isolamento moderado	0,74 – 0,8	0,55 – 0.59	13	0 – 4	3 – 7
Sem isolamento	7,76 – 18,18	1,73 – 1.99	45 – 46	22 – 45	31 – 44

U – Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial

e) Contributo para avaliação da sustentabilidade dos ambientes construídos

As coberturas verdes permitem obter créditos em vários sistemas de avaliação da sustentabilidade dos ambientes construídos, como o sistema LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design), dos EUA, onde é possível, através da incorporação de soluções de coberturas verdes, obter pelo menos 1 crédito na redução do efeito de "ilha de calor", se estiver coberto com vegetação, como mínimo, 50% do edifício, e outro crédito pelo contributo das coberturas verdes na gestão das águas pluviais (Oberlander et al. 2002). Em

Portugal, com o sistema voluntário para a avaliação da construção sustentável - LiderA®, são passíveis de serem obtidos, pelo menos, 9 créditos diretamente relacionados com a instalação de coberturas verdes, nos critérios: interligação de habitats; desenho passivo; gestão das águas locais; produção local de alimentos; poluição ilumino-térmica (redução do efeito de "ilha de calor"); níveis de qualidade do ar; e conforto térmico (Pinheiro, 2011).

As coberturas verdes permitem projetar uma imagem ambientalmente consciente e benéfica no sentido económico, para um edifício ou uma entidade em particular, ou como parte de uma estratégia de sustentabilidade para uma cidade. Neste sentido, Scheffield pretende ser a cidade mais verde do Reino Unido. As coberturas verdes surgem como parte importante dessa estratégia, promovendo e fomentando a sua instalação através do apoio político e numa colaboração com a Universidade de Scheffield (Dunnett e Kingsbury, 2008).

2.5.2. Benefícios ambientais

Os principais benefícios ambientais são:

a) Regulação da temperatura urbana – redução do efeito "ilha de calor"

A "ilha de calor" é o exemplo mais bem documentado de uma modificação climática induzida pelo ser humano (Oke, 1987). Ocorre em todas as cidades e é o resultado cumulativo de modificações na cobertura do solo e na composição da atmosfera, devido ao desenvolvimento urbano e às actividades antrópicas (Alcoforado et al, 2006).

Dunnett e Kingsbury (2008) referem que o aumento da concentração de edifícios e das áreas pavimentadas nas cidades conduz à formação de um clima urbano específico caracterizado por maiores temperaturas noturnas, pelo aumento da humidade, e, devido à restrição de caudais de ar, por ar poluído e grandes concentrações de partículas. O aumento das temperaturas aumenta a probabilidade de formação de fumos e, por consequência, maior risco de asma e outros problemas respiratórios. Estes problemas resultam de vários fatores, tais como: o grande número de estruturas construídas com propriedades de absorção de calor; a redução da superfície de evaporação; a falta de vegetação e o seu efeito de sombreamento e de evaporação; o aumento da superfície de escoamento; o aumento dos poluentes atmosféricos; o calor produzido pelos edifícios; e menor arrefecimento pelo vento por causa da geometria urbana. Além destes fatores teremos de considerar para o aumento das temperaturas, o calor gerado por veículos, fábricas e sistemas de AVAC (Dunnett e Kingsbury, 2008). Por exemplo, no centro de Berlim, numa noite de céu limpo e sem vento, a diferença de temperatura pode ser 9°C superior à da periferia (Von Stulpnagel et al, 1990).

Sendo que as coberturas dos edifícios têm um contributo importante nesta problemática, as propriedades térmicas das soluções de coberturas verdes permite-lhes, à escala particular dos edifícios, amenizar os climas urbanos e em particular o efeito de "ilha de calor". Castleton et al (2010), referem que no verão, a área exposta

de uma cobertura com membrana asfáltica exposta à radiação pode chegar aos 80°C, enquanto que numa área equivalente de cobertura verde a temperatura é de apenas 27°C. As coberturas verdes arrefecem a temperatura exterior através da perda de calor latente e da melhor refletividade da radiação solar incidente. A razão do total de radiação electromagnética refletida incidente é definida como "albedo". Os mesmos autores citando Gaffin (2006) sugerem que as coberturas verdes são uma forma tão eficaz de arrefecimento como os revestimentos de elevada reflexão, com um albedo equivalente de 0,7-0,85, em comparação com os 0,1-0,2 de uma cobertura com membrana asfáltica e proteção de godo. Wong et al. (2003b) constataram, através de medições efetuadas na estação quente, que o calor acumulado durante o dia numa cobertura exposta continuou a entrar no edifício durante a noite, enquanto que numa cobertura verde os ganhos de calor durante o dia foram menores, e portanto, a transmissão de calor durante a noite foi também menor. Através da medição da temperatura do ar na superfície da cobertura verde verificou-se que, depois do pôr-do-sol, a temperatura ambiente foi reduzida significativamente, e continuou a arrefecer o ar ambiente ao longo da noite, enquanto que na cobertura exposta o calor armazenado é irradiado, aumentando a temperatura do ar ambiente (Castleton et al, 2010). A Fig. 2.5.3 apresenta a influência de diferentes materiais e soluções de revestimento de cobertura, inclusive de cobertura verde, na temperatura do ar ambiente (exterior e interior) obtidas na cobertura do Chicago's City Hall, no âmbito de um estudo para a redução do efeito de "ilha de calor" realizado pelo EPA (2008) em várias cidades dos EUA (Weiler e Scholz-Barth, 2009).

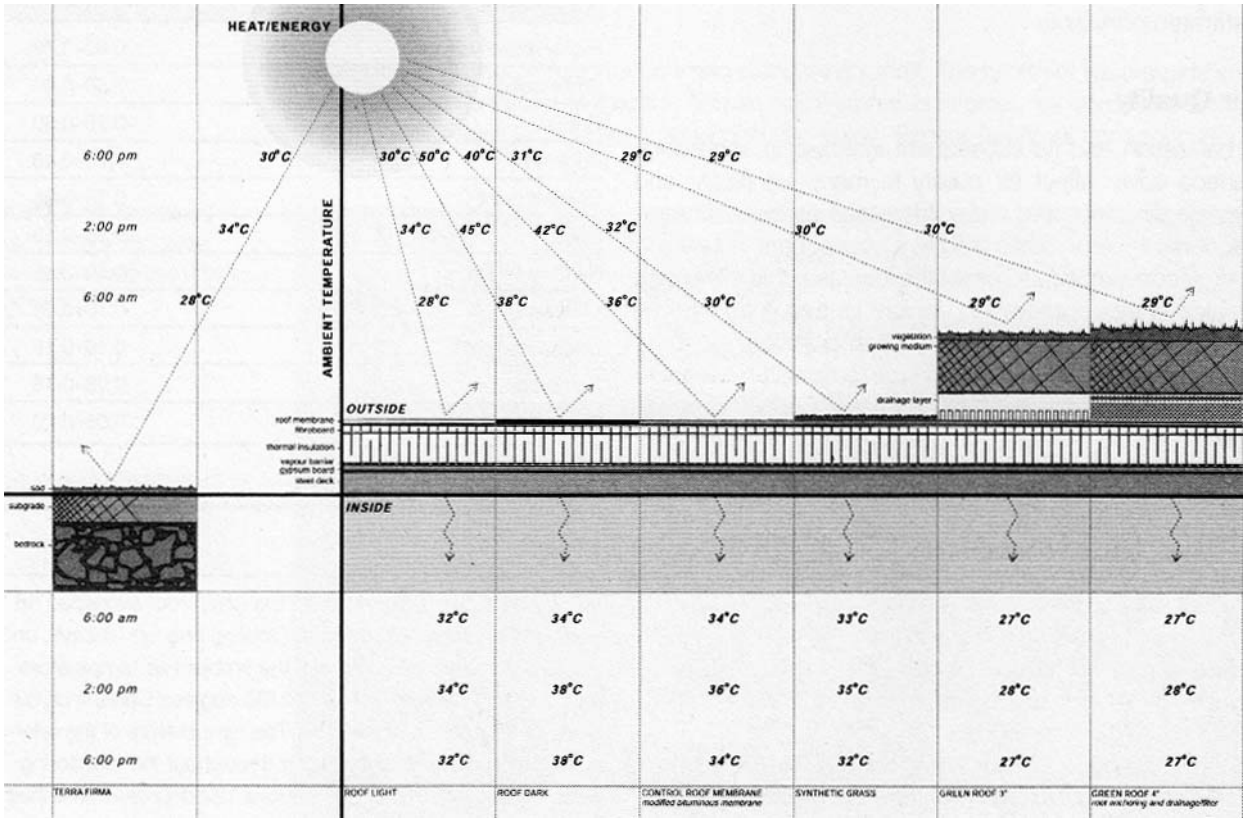


Fig. 2.5.3 – Influência de diferentes materiais e soluções de revestimento de cobertura, inclusive de cobertura verde, na temperatura do ar ambiente (exterior e interior) obtidas na cobertura do Chicago's City Hall. (Fonte: Weiler e Scholz-Barth, 2009).

De todos os benefícios dos sistemas de coberturas verdes, a diminuição do efeito de "ilha de calor" é um dos mais difíceis de contabilizar, até porque só terá efeitos significativos à escala urbana se uma grande quantidade de coberturas verdes for instalada, ou em conjunto com a estrutura verde das cidades. Bass et al. (2002), modelando a influência das coberturas verdes na "ilha de calor" de Toronto, desenhou um cenário teórico em que 50% dos edifícios no centro da cidade são revestidos com coberturas verdes. Verificou-se que os efeitos são negligenciáveis, reduzindo a temperatura média em cerca de 0,5°C. Contudo, a adição de irrigação no modelo de computador, de modo a garantir uma eficaz evapotranspiração durante os períodos de stress hídrico, teve um efeito mais expressivo, reduzindo a temperatura até 2°C e permitindo aumentar a área afetada pelo arrefecimento passivo (Dunnett e Kingsbury, 2008).

b) Melhoria da qualidade do ar – filtro de limpeza do ar

As coberturas verdes contribuem para a redução de um número de partículas poluentes do ar e seus compostos, não só através das plantas, mas também pela deposição na terra vegetal (Gedge e Frith, 2004): as plantas através da fotossíntese reduzem o dióxido de carbono da atmosfera e produzem oxigénio; as coberturas verdes removem os metais pesados, as partículas em suspensão e os compostos orgânicos voláteis; a absorção dessas partículas poluentes evita a entrada no sistema de água através da escorrência superficial, conduzindo à melhoria da qualidade da água. No entanto, este efeito só é efetivo à escala urbana se um número elevado de coberturas forem revestidas com vegetação (Dunnett e Kingsbury, 2008). Segundo o estudo de Yang et al (2008) sobre a redução do nível de poluição do ar por coberturas verdes na cidade de Chicago, foram removidos um total de 1675 kg de poluentes do ar por 19,8 ha de coberturas verdes, durante um ano, sendo que Ozono (O_3) representa 52% do total, Dióxido de Azoto (NO_2) 27%, Partículas PM_{10} 14% e Dióxido de enxofre (SO_2) 7%. O maior nível de remoção da poluição do ar ocorreu em Maio e o menor em Fevereiro. A remoção anual por hectare de cobertura verde foi de 85 kg/ha/ano. Os mesmos autores, referem ainda que a quantidade de poluentes removidos aumentaria para 2046,89 toneladas se todas as coberturas em Chicago fossem cobertas com sistemas de coberturas verdes intensivas.

c) Gestão das águas pluviais – retarda e minimiza a escorrência das águas pluviais

Scholz-Barth (2001) refere que, devido à grande quantidade de superfícies impermeáveis em ambientes urbanos, cerca de 75% da precipitação é perdida por escorrência superficial em comparação com cerca de 5% numa área florestal (Dunnett e Kingsbury, 2008). Com a ocorrência de fortes precipitações, este fenómeno tem consequências graves para os sistemas de escoamento público, que são sobrecarregados com caudais elevados de água, resultando, por vezes, no não tratamento dessas águas e na consequente descarga nos rios aumentando o risco de cheias.

Dunnett e Clayden (2007) constataram que, como as coberturas representam aproximadamente 40-50% das superfícies impermeáveis nas áreas urbanas, os sistemas de coberturas verdes poderão ter um importante contributo para a melhoria da qualidade da gestão das águas pluviais (Dunnett e Kingsbury, 2008). As coberturas verdes influenciam o escoamento das águas pluviais de várias formas. A precipitação pode ser

absorvida pelos substratos de crescimento e pelas plantas, sendo posteriormente evaporada para a atmosfera. Pode ser ainda retida e armazenada nas camadas drenantes. Por fim, a água em excesso será drenada pelo sistema de drenagem. Desta forma, os sistemas de coberturas verdes reduzem os caudais de escoamento e agem como amortecedor do fluxo de água entre a ocorrência da precipitação até à entrada no sistema de drenagem predial, ainda que dependendo do número de camadas da solução construtiva e da espessura do substrato de crescimento.

A redução e gestão do escoamento das águas pluviais em coberturas verdes tem sido uma das áreas onde mais se têm realizado estudos. Mentens et al. (2006) sugerem que o enverdecimento de 10% das coberturas de Bruxelas com uma solução extensiva de 10cm de espessura de substrato, resulta numa redução de 2,7% das águas de escorrência em toda a região e de 54% em cada edifício em particular. No Quadro 2.4, com base numa visão geral sobre a quantidade escoamento anual de diferentes tipos de coberturas apresentados na literatura sobre este tema, os mesmos autores verificam uma retenção mediana anual de 45% para coberturas extensivas, com uma profundidade de substrato de 10cm, e 75% para coberturas intensivas, com uma profundidade de substrato mediana de 15cm. Em Portland, Oregon, num estudo realizado durante 2 anos, por Hutchison et al. (2003), verificou-se que uma cobertura extensiva com cerca de 10cm de profundidade de substrato absorveu 69% de toda a precipitação verificada no período de observação, sendo que reteve 100% na maioria das tempestades da estação quente (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Quadro 2.4 – Características da profundidade do substrato de crescimento (mm) e quantidade de escoamento (% da precipitação total anual) verificadas na literatura por Mentens et al. (2006) e definidas num nível anual.

Substrato	Cobertura verde intensiva	Cobertura verde extensiva	Cobertura com com proteção pesada (godo, brita, etc)	Cobertura sem revestimento vegetal
Profundidade (mm)				
Mínimo	150	30	50	-
Máximo	350	140	50	-
Mediana	150	100	50	-
Média	210	100	50	-
Escoamento (%)				
Mínimo	15	19	68	62
Máximo	35	73	86	91
Mediana	25	55	75	85
Média	25	50	76	81

d) Qualidade e tratamento das águas pluviais;

Para além de reduzirem os caudais de escoamento, as coberturas verdes permitem reduzir a quantidade de poluentes melhorando a qualidade das águas pluviais. Berghase (2007) verificou que a quantidade de nitratos nas águas escoadas através de uma cobertura verde era inferior em comparação com uma cobertura sem revestimento vegetal. O mesmo autor também verificou que o pH das águas de escoamento de uma cobertura verde era superior ao de uma cobertura sem esta tecnologia, permitindo reduzir a acidez das águas das chuvas (Dunnett e Kingsbury, 2008).

e) Aumento do isolamento acústico e diminuição da intensidade do ruído

As soluções construtivas de coberturas podem aumentar o isolamento acústico nos edifícios. As ondas sonoras são absorvidas, refletidas ou desviadas. O substrato tende a bloquear as frequências mais baixas, enquanto que as plantas bloqueiam as frequências mais altas. A quantificação do isolamento acústico depende do sistema usado e da profundidade da camada de substrato (Gedge e Frith, 2004). Renterghem e Botteldooreen (2011) constatam que tanto as tipologias extensivas como as intensivas reduzem a difração de ondas sonoras sobre um edifício, sendo que uma boa eficiência global é possível com uma espessura de substrato entre 15-20cm. Esta técnica tem sido utilizada em edifícios principalmente junto de aeroportos e vias ruidosas. Por exemplo, Dunnett e Kingsbury (2008), referindo-se a um estudo sobre a redução da transmissão sonora produzida por uma cobertura verde no aeroporto de Frankfurt, verificam que os 10cm de substrato reduziram, em pelo menos 5dB essa transmissão.

f) Criação e preservação de habitats e incremento da biodiversidade ecológica

Wells e Grant (2004) referem que, desde o final dos anos 90 do século XX, começaram a surgir estudos específicos sobre a biodiversidade em superfícies vegetais de edifícios. Embora seja interessante ver que espécies realmente colonizam ou usam estas superfícies, deve ser lembrado que um edifício é, em certo sentido, apenas um suporte para vegetação, um pouco como um monte ou um penhasco e, portanto, em teoria, quase todo o tipo de habitat e espécies poderiam existir num edifício. Os mesmos autores, fazendo referência a alguns desses estudos, constatam que as coberturas verdes produzem efeitos positivos na preservação da biodiversidade local, principalmente para aves (Brenneisen, 2000), invertebrados (Kadas, 2002; Jones, 2002) e no desenvolvimento de variedades de musgos.

g) Reciclagem de materiais

As soluções de coberturas verdes permitem a incorporação de materiais reciclados na sua constituição. A Fig 2.5.4 representa uma das hipóteses através da aplicação de um substrato com base em seixo rolado e pedaços britados de tijolo e telhas. Em Londres, tem havido uma tendência para uso de agregados reciclados provenientes do próprio local de construção, como base de substratos de crescimento. Isto reduz a necessidade de eliminação de resíduos para aterros sanitários. Cumpre-se assim os objetivos de governo do Reino Unido para a reutilização dos agregados. No caso de serem reutilizados a partir do próprio local de construção, reduz-se também o impacto de veículos pesados em trânsito para o local das obras (Gedge e Frith, 2004).

Fig. 2.5.4 – Substrato de crescimento com base em seixo rolado e pedaços britados de tijolo e telhas.
(Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

2.5.3. Benefícios sócio-comunitários

Entre os benefícios sócio-comunitários, destacam-se:

a) Valor estético das coberturas verdes e aumento da qualidade de vida dos utentes

No Reino Unido, o trabalho do Urban Green Spaces Taskforce, Green Spaces, Better Places (2002) demonstrou os diversos benefícios que os espaços verdes oferecem, tais como a função ecológica, o efeito suavizador do ambiente construído, mantendo a biodiversidade, auxiliando a saúde física e mental das pessoas. As coberturas verdes podem fornecer tanto visualmente como fisicamente espaços verdes acessíveis. Grande parte das coberturas são visualmente "mortas" e sem atractivos, e a sua aparência pode ser amenizada pela vegetação. Há casos em que a única justificativa para a instalação de uma cobertura verde é de estética visual. Outros há onde se pretende fornecer espaços acessíveis para as pessoas desfrutarem, como a cobertura do Centro Comercial MAG em Geilingen, Alemanha, na Fig. 2.5.5 (Gedge e Frith, 2004).

Fig. 2.5.5 – Cobertura verde do Centro Comercial MAG, Geilingen, Alemanha. (Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

Fig. 2.5.6 – Plantações em coberturas de blocos habitacionais na China. (Fonte: Mcdonough, 2013)

b) Produção de alimentos – Agricultura urbana

Com a preocupação crescente com a qualidade dos alimentos, a forma como são produzidos, o tempo que demoram em trânsito desde os países de origem, os custos energéticos inerentes, principalmente em áreas urbanas de grande densidade, da Europa e da América do Norte, as superfícies das coberturas são vistas como oportunidades de cultivo de alimentos saudáveis. A Fig. 2.5.6 apresenta uma proposta desenvolvida pelo arquitecto americano William McDonough para a China. Como meio para combater a preocupante perda de terras férteis para o desenvolvimento urbano, propôs colocar hortas nas coberturas dos blocos habitacionais (Wells e Grant, 2004). Um dos melhores exemplos de produção de alimentos em cobertura é o Hotel Fairmont em Vancouver, Canadá. Cobre 195m2 e a profundidade de substrato é de 45cm. Produz todas as ervas utilizadas no hotel representando uma poupança estimada no custo anual de CAN$ 25.000–30.000. Simultaneamente, fornece um espaço exterior agradável para os hóspedes, permitindo aumentar as tarifas dos quartos situados no seu entorno (Dunnett e Kingsbury, 2008).

2.5.4. Barreiras e desvantagens

As principais barreiras e desvantagens apontadas na literatura são:

a) Manutenção

A manutenção é vista como uma desvantagem à implementação de coberturas verdes devido ao seu custo, principalmente o das coberturas do tipo intensivo, que necessitam de uma manutenção regular de corte, irrigação e outras atividades normais de jardinagem. No caso das coberturas do tipo extensivo, as necessidades de manutenção são baixas visto serem idealizadas para ser auto-sustentáveis, não significando todavia, ausência de manutenção. Poderá ainda ser necessária alguma manutenção após a instalação em termos de irrigação e fertilização (Gedge e Frith, 2004).

b) Estrutural

Uma das principais desvantagens à implementação de sistemas de coberturas verdes diz respeito à carga por eles exercida sobre a estrutura de suporte, e as consequentes implicações nos custos finais. Gedge e Frith (2004) afirmam que qualquer caráter paisagístico numa cobertura terá implicações de carga que deverão ser usadas para o cálculo estrutural. Os valores apresentados em seguida representam uma comparação das cargas produzidas por diferentes materiais utilizados em projetos de paisagísticos, incluindo os sistemas de cobertura verde (peso máximo de saturação), obtidos a partir da ZinCo® Internacional e calculados de acordo com a Norma Alemã DIN 1055 (revista na norma EN 1990) para o desenho de carga em edifícios:

a) Camada de agregados de pedra = 90-150 Kg/m^2;
b) Lajetas de pavimentação = 160-220 Kg/m^2;
c) Superfície para veículos = a partir de 550 Kg/m^2;
d) Cobertura de vegetação extensiva = 60-150 Kg/m^2;
e) Cobertura de vegetação intensiva = 200-500 Kg/m^2;

c) Garantias

Dunnett e Kingsbury (2008) referem que as coberturas verdes devem ser instaladas com elevados padrões de qualidade, principalmente no que diz respeito à impermeabilização, visto que qualquer reparação ou substituição implica custos adicionais elevados. Por esta razão, a incerteza de garantia da qualidade do revestimento vegetal por parte dos instaladores e fabricantes é apontado por Gedge e Frith (2004) como outra das desvantagens destes sistemas. Os mesmos autores salientam que o normal é ser garantida a qualidade do sistema de impermeabilização e a sobrevivência das plantas. No caso das coberturas desenhadas para o desenvolvimento de biodiversidade, apenas se fornece a garantia relativa ao sistema de impermeabilização.

d) Comportamento ao fogo

O risco potencial de incêndio associado às coberturas verdes tem levantado muita discussão e incerteza. Na verdade, as primeiras coberturas verdes na Alemanha foram construídas de modo a reduzir o risco de incêndio. Dunnett e Kingsbury (2008) revelam que a carga calorífica da vegetação em cobertura verde é de 3 kW/m^2, em

comparação com 50kW/m^2 para uma cobertura convencional com tela betuminosa. Por outro lado, uma vegetação com base em suculentas é considerada resistente ao fogo. Breuning (2007) constatou que o risco de incêndio numa cobertura betuminosa é 15 a 20 vezes mais elevado que numa cobertura verde. O mesmo autor, citado por Dunnett e Kingsbury (2008), revela que na Alemanha não existem casos de incêndio nos 200.000m^2 de coberturas verdes extensivas instaladas. Por essa razão, as empresas seguradoras oferecem um desconto no seguro dos edifícios, entre 10 a 20%, caso tenham instaladas coberturas verdes de acordo com as diretivas da FLL (2008).

e) Orientação e Apoio

Gedge e Frith (2004), citando um estudo no Reino Unido, revelam que em Londres, a maioria dos profissionais estavam bastante interessados no tema, mas muitos dos entrevistados para a pesquisa citavam como uma barreira a falta de orientação pública, de informação e do apoio do governo. O conhecimento sobre coberturas verdes é geralmente limitado às empresas especializadas e a alguns entusiastas. O aconselhamento independente não é fácil de encontrar.

f) Custos

Os custos associados à instalação de coberturas verdes são difíceis de avaliar, pois existe um conjunto de fatores que afeta os preços por m^2 , como (Gedge e Frith, 2004):

a) Dimensão da cobertura a instalar – em geral, uma área menor dimensão tem um custo mais elevado;
b) Altura ao solo, que afeta o custo de mobilização e elevação dos diversos componentes a instalar;
c) Tipo de cobertura e a forma como se realiza a plantação, sendo que as coberturas extensivas são mais baratas, embora a instalação dos tapetes de vegetação pré-cultivados apresentem valores elevados;
d) Manutenção tem um custo importante, visto que é necessária nos primeiros anos enquanto as plantas não estão totalmente estabelecidas;
e) Tipo de impermeabilização – sistemas de impermeabilização diferentes apresentam custos de instalação também diferentes;
f) Envolvimento de fabricantes e instaladores é fundamental durante todas as fases do processo por forma a não extrapolar os custos;
g) Métodos de instalação – é fundamental assegurar que a instalação é realizada sob parâmetros de qualidade elevados, assegurando que todas as especificações são seguidas, principalmente nas tipologias desenhadas com caráter auto-sustentável.

2.5.5. Estratégias e políticas de incentivo

A qualidade do ar, as mudanças climáticas, o abastecimento de água, a proteção do solo, da biodiversidade e da paisagem natural estão sujeitas à proteção pública. Estes recursos naturais são insubstituíveis em termos de melhoria da qualidade de vida e arquitetura urbanas e nem sempre são salvaguardados da forma mais adequada. À medida que se percebe e quantifica a relação custo/benefício das soluções de coberturas verdes e a sua importância no desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, as autoridades locais de diversos países

(como a Alemanha, a Suiça, o Reino Unido, os EUA e o Japão), começam a adotar estratégias e políticas de incentivo à implementação de coberturas verdes com a finalidade de promover a rápida expansão deste mercado. A Alemanha, em particular, ao longo dos últimos 20 anos, tem sido pioneira na implementação deste tipo de apoio ao enverdecimento das coberturas.

De uma forma geral, são colocadas em prática através de: a) incentivos financeiros diretos; b) redução de impostos sobre a gestão de águas pluviais; c) estratégias que visem a proteção do meio ambiente; e d) medidas reguladoras de planeamento/ordenamento urbano e de construção de edifícios.

a) Incentivos financeiros diretos

Quase metade das cidades alemãs (120 cidades incluíndo Berlim, Frankfurt, Karlsruhe, Munster e Estugarda), oferecem incentivos para enverdecimento de coberturas, sendo a principal razão a poupança significativa nos custos para aquecimento e ar condicionado (Grant, 2006). Em muitos casos, os subsídios financeiros variam entre 10€ e 20€ por m^2. Outras comunidades pagam um montante fixo por toda a cobertura verde que varia entre 25-100% dos custos de instalação e materiais. Em geral, os programas de apoio fixam determinados critérios de qualidade para a solução de cobertura verde, garantindo que as coberturas verdes instaladas satisfazem todas as funções ecológicas exigidas (IGRA, 2013).

Dunnett e Kingsbury (2008), citando Brenneissen (2004), referem que na Suiça o movimento inicial em torno das coberturas verdes tinha por principal objetivo a proteção da biodiversidade. Em 1996, as autoridades de Basileia iniciaram uma campanha de apoio às coberturas verdes baseada na educação pública e profissional. Por um período de tempo, os proprietários de casas poderiam solicitar, ao município local, 20% dos custos de investimento caso seguissem as recomendações de enverdecimento das coberturas. Como resultado, em 18 meses, 3% dos edifícios de Basileia com cobertura plana foram adaptados com estes sistemas.

b) Redução de impostos sobre a gestão de águas pluviais

Um grande número de cidades na Alemanha introduziu impostos especiais de gestão de águas pluviais. A divisão entre taxas de águas pluviais e taxas de águas residuais fomentou a gestão natural da água da chuva. Por exemplo, as grandes superfícies impermeáveis, como parques de estacionamento de grandes centros comerciais ou de áreas industriais, exercem pressão sobre os sistemas de escoamento locais com elevados caudais de águas pluviais (IGRA, 2013). Münster foi uma dessas cidades, em que a gestão das águas pluviais era o principal motor para a implementação de estratégias para a instalação de coberturas verdes. A cidade cobra taxas de acordo com o volume de água pluvial descarregada no sistema de drenagem municipal. Taxas essas que por sua vez são usadas para a operação e manutenção desse mesmo sistema (Grant, 2006). Ao contrário, as áreas de cobertura verde com alta capacidade de retenção de água são recompensadas com uma redução das taxas de até 50%. Caso não existam quaisquer águas pluviais a ser drenadas no sistema municipal de escoamento, a redução pode chegar até 100% (IGRA, 2013).

Nos EUA as coberturas verdes são vistas como propostas economicamente viáveis para resolver o problema da falta de espaços permeáveis. Em Filadélfia, as coberturas verdes são considerados espaços permeáveis, estando, por isso, isentos de requisitos de gestão de águas pluviais (Dunnett e Kingsbury, 2008).

c) Estratégias de proteção do meio ambiente

As coberturas verdes podem ajudar a mitigar os danos na natureza e na paisagem causados pela impermeabilização das áreas urbanizadas. Esta mitigação, em paralelo como a Lei de Proteção da Natureza, exige que as áreas urbanizadas evitem danos desnecessários na natureza e que qualquer dano deve ser compensado, preferencialmente, no próprio local. Segundo a IGRA (2013), os principais efeitos das coberturas verdes na manutenção do equilíbrio natural refletem-se sobretudo ao nível da qualidade da água, do solo, do ar e do clima, e ao nível da biodiversidade (fauna e flora). Estugarda tem liderado o enverdecimento das coberturas na Alemanha com 105.000m^2 de coberturas verdes instaladas, como o demonstra a Fig. 2.5.7. Nesta cidade existe um interesse considerável na promoção deste tipo de solução devido à falta de qualidade do ar. Este problema ocorre, em parte pela sua situação geográfica (a cidade está situada num vale), mas sobretudo por culpa de um desenvolvimento urbano que a deixou despida de vegetação natural. Desde 1986, com o objetivo de resolver este problema e de melhorar a qualidade do ar, o município subsidia em 50% a instalação de coberturas verdes e criou um regulamento que exige que os edifícios com cobertura plana ou com fraca inclinação, devem ser revestidos com coberturas verdes do tipo extensivo (Grant, 2006).

Fig. 2.5.7 – Coberturas verdes em Weiler Park – nova área industrial e comercial em Estugarda, Alemanha. (Fonte: Werthmann, 2007)

O Reino Unido e os países da América do Norte (EUA e Canada) são os mais recentes impulsionadores do enverdecimento das coberturas. A mitigação do efeito de "ilha de calor", a melhoria da qualidade do ar, a eficiência energética, a gestão das água pluviais e o aumento da biodiversidade são os principais motores das estratégias de proteção do meio ambiente praticadas. Em cidades como Sheffield e Londres, no Reino Unido, Chicago e Nova Yorque, nos EUA, e Toronto, no Canada, o fomento das coberturas verdes é realizado através de programas de informação e acessória técnica, demonstrações de soluções de coberturas verdes, desenvolvimento de análises de custo/benefício e de implementação de planos estratégicos para a instalação deste tipo de sistemas construtivos (Grant, 2006; Dunnett e Kingsbury, 2008).

d) Medidas reguladoras de planeamento/ordenamento urbano e de construção de edifícios

Algumas autoridades locais, como no caso de Estugarda, obrigam à implementação de coberturas verdes nos planos de novas áreas urbanizáveis. Os efeitos positivos, tanto para a comunidade e os moradores, são bastante significativos. Para além da ampla gama de benefícios privados e públicos, o sistema de escoamento e os reservatórios de água, dentro destas novas áreas de desenvolvimento, podem ser dimensionados para uma escala menor devido à maior taxa de evaporação e alta capacidade de retenção de água. Segundo a IGRA (2013), estas medidas promovem, a médio/longo prazo, a diminuição das despesas públicas para construção e manutenção da rede de esgotos e, consequentemente, os impostos sobre a gestão de águas pluviais serão mais baixos para o público em geral.

Dunnett e Kingsbury (2008) referem que em Portland, Oregon, a cidade elaborou regulamentos que oferecem créditos de construção aos promotores imobiliários. Por cada 0,09m^2 de cobertura verde criados, é permitido um extra de 0,27m^2 de superfície construída, resultando num rápido e suplementar retorno do investimento. Liptan (2002) refere que num caso em particular, nos termos desse regulamento, um promotor foi autorizado a construir 6 apartamentos adicionais, no valor de EUA$ 1,5 milhões (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Em 2001, na cidade de Tóquio, o efeito de "ilha de calor" foi o principal fator de decisão das autoridades locais para introduzir regulamentação com o objetivo de criar 30km^2 de coberturas verdes. Para isso, aplicou-se uma política que obriga os novos edifícios privados, com uma implantação > 1000m^2, e os novos edifícios públicos, com uma implantação > 250m^2, a revestirem com vegetação 20% das suas áreas de cobertura, caso contrário, poderão enfrentar multas anuais. A política é eficaz, estimulando a construção de 50.000m^2 de coberturas verdes por ano. Atualmente, o governo japonês está a aplicar a nível nacional esta política da cidade de Tóquio (Grant, 2006).

Os Jogos Olímpicos de Pequim, na China, em 2008, motivaram esforços para melhorar a qualidade do ar da cidade. As autoridades locais fixaram como objetivo político enverdecer 30% das coberturas dos edifícios mais altos e 60% dos edifícios mais baixos (menos de 12 andares) até 2008, esperando chegar a um valor de 300.000m^2 de coberturas verdes (Grant, 2006).

2.5.6. Análise de custo/benefício

Um problema particular que muitas tecnologias recentes enfrentam reflete-se no desequilíbrio entre os custos iniciais e o *cash flow* esperado dos seus benefícios. No caso dos sistemas construtivos de coberturas verdes, Dunnett e Kingsbury (2008), citando Peck (2003), concluem que o facto de estes sistemas construtivos oferecerem tantos benefícios leva a que seja muitas vezes difícil avaliar de forma integrada o seu verdadeiro potencial. Através de uma análise de custo/benefício, podemos obter uma perspetiva alargada dos efeitos do enverdecimento do topo dos edifícios, transformando, em primeiro lugar, os benefícios obtidos em equivalentes monetários, por forma a facilitar a persuasão de promotores interessados em investir neste tipo de mercado, e em segundo lugar, identificando o papel desses mesmos benefícios à escala urbana.

Uma investigação conduzida através da parceria entre a *Toronto City Authority*, a *Environment Canada*, a *Green Roofs for Healthy Cities* e a *Canadian National Research Council Institute for Research in Construction*, conseguiu estimar de forma integrada os benefícios obtidos da implementação de coberturas verdes na cidade de Toronto (Peck 2003). Trabalharam num cenário de 6% das coberturas de Toronto a serem revestidas com vegetação durante um período de 10 anos (representando 1% da totalidade da área da cidade, em torno de 6 milhões de m^2). A média das espessuras dos substratos de crescimento proposta foi de 15cm, com uma espessa camada de vegetação herbácea. Os resultados foram os seguintes:

a) Criação de 1350 postos de trabalho (diretos e indiretos) por ano;
b) Redução do efeito de "ilha de calor urbano" entre 1 a 2°C;
c) Redução da emissão dos gases de efeito de estufa a partir dos edifícios de 1,56Mt (megatoneladas) e 0,62Mt, indiretamente, pela redução do efeito de "ilha de calor urbano";
d) Redução do numero de incidentes graves provocados pelo nevoeiro entre 5 a 10%;
e) Quantidade de partículas capturadas pelas plantas de 30t (toneladas) por ano;
f) Aumento da capacidade de retenção de águas pluviais superior a 3,6 milhões de m^3 por ano (o custo de construção de um tanque de retenção para quantidades similares de águas pluviais ascende a $60 milhões (dólares canadianos);
g) Produção de alimentos, assumindo 10% de cobertura, de 4,7milhões de kg por ano;
h) Poupança nos custos energéticos superiores a $1 milhão (dólares canadianos) por ano;
i) Potenciais espaços de lazer, públicos e privados, na ordem dos 650.000m2.

Dunnett e Kingsbury (2008) referem que apesar de não serem resultados perfeitos, fornecem uma imagem global dos imensos benefícios que podem resultar de adoção mais generalizada de coberturas verdes

2.6. Portugal e o clima mediterrânico

Fig. 2.6.1 – Vista da cobertura verde do edifício da Fundação Calouste Gulbenkian. (Fonte: Tostões, 2006)

Fig. 2.6.2 – Vista aérea do Edifício da Portugal Telecom em Picoas. http://i225.photobucket.com. (Fonte: Costa, 2010)

A tecnologia moderna de coberturas verdes começou a surgir em Portugal nos anos 60 do séc. XX, sobretudo através de soluções intensivas de jardins de cobertura. A cobertura ajardinada do Hotel Ritz, desenvolvida no final dos anos 60 pelos arquitetos paisagistas Viana Barreto, Álvaro Dentinho e Albano Castelo Branco, e as coberturas ajardinadas do edifício (Fig. 2.6.1) e do parque de estacionamento da Fundação Calouste Gulbenkian, desenvolvidas no inicio dos anos 70, pelos arquitetos paisagistas Gonçalo Ribeiro Telles e Viana Barreto são os exemplos dessa época (Costa, 2010). Desde então, têm surgindo alguns exemplos como a cobertura do edifício da Portugal Telecom (Fig. 2.6.2), desenvolvida no início dos anos 80 pelo arquiteto paisagista Manuel Sousa da Câmara (Costa, 2010), o Jardim das Oliveiras, sobre o parque de estacionamento do Centro Cultural de Belém, desenvolvido no início dos anos 90 pelo arquiteto paisagista Francisco Caldeira Cabral (Costa, 2010), ou mais recentemente, os jardins acessíveis nas coberturas dos primeiros pisos dos edifícios no Parque das Nações (Fig. 2.6.3) e ainda a cobertura verde da ETAR de Alcântara (Fig. 2.6.4), desenvolvida pelo arquiteto paisagista João Nunes.

Fig. 2.6.3 – Vista do conjunto de terraços Torre Zen, Torre Fernão de Magalhães e Central Office. (Fonte: Topiaris, 2013)

Fig. 2.6.4 – Vista da cobertura verde sobre a ETAR de Alcântara.

Dunnett e Kingsbury (2008) constataram que nos países do Sul da Europa (Grécia, Itália, Espanha e Portugal), houve um muito menor desenvolvimento do conceito de cobertura verde. Em parte a diferença deve-se ao clima quente e seco do Verão poder significar que a cobertura extensiva estilo alemão com vegetação do tipo

Sedum não será tão bem sucedida. Além disso, as reduzidas chuvas de Verão, em relação às do Centro e Norte da Europa, também podem indiciar que o foco alemão na retenção de água da chuva é talvez menos aplicável. Mas em contrapartida, Köhler et al. (2001), referem que nestes climas o maior benefício das coberturas verdes pode ser a redução da temperatura da superfície de edifícios. Na Grécia, a grande dificuldade enfrentada pelos defensores das coberturas verdes extensivas está na atitude geral de que se é gasto dinheiro adicional numa cobertura verde, então deverá ser acessível para uso de tempos livres (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Em Portugal, Batista (2004), numa dissertação de mestrado sobre impermeabilização de coberturas em terraço, refere que, apesar dos benefícios incontestáveis deste tipo de soluções, a adoção das coberturas ajardinadas ainda é reduzida, talvez devido a fatores como:

a) A insuficiente consciencialização dos intervenientes sobre as suas vantagens;
b) A divulgação deficiente dos conhecimentos técnicos para a conceção e sua execução;
c) O oneroso acesso a produtos especializados e homologados;
d) A inexistência de regulamentação de edificações específicas;
e) A inexistência de incentivos fiscais que estimulem a adoção deste tipo de soluções;
f) Uma análise do custo global sob a ótica custo/benefício.

2.7. Ajustamento e práticas

Apesar das barreiras e desvantagens identificadas, que poderemos considerar sobretudo pela falta de um conhecimento mais aprofundado sobre a tecnologia, os benefícios, que advêm da instalação de coberturas verdes nos topos dos edifícios, são mais vastos e permitem de uma forma transversal contribuir para a sustentabilidade dos ambientes construídos e para o bom desempenho dos edifícios se estiverem devidamente ajustadas às condições locais.

Esse ajustamento deverá ser realizado a partir de uma análise dos requisitos e das especificações construtivas da tecnologia de coberturas verdes. Enquanto que os substratos e as comunidades de plantas podem ser alteradas de local para local, procurando sempre sejam autóctones ou adaptadas para cada localização, a altura e a inclinação da cobertura e o clima predominante são fatores específicos de cada implantação. Adicionalmente são necessárias considerar a exposição ao sol e ao vento, a poluição do ar, a variação de temperatura, bem como a luz local e os níveis de humidade, fatores que determinam as condições micro-climáticas.

Para além das condições locais, o desempenho bem sucedido e de longa duração das coberturas verdes está também condicionado pelo fator económico, no sentido em que tem um papel determinante na definição dos objetivos a alcançar (por exemplo, em relação à sua função, se é acessível ou simplesmente vísivel) e no tipo de solução construtiva a adoptar (por exemplo, em relação à severidade das condições locais como a profundidade do substrato de crescimento e disponibilidade de irrigação e/ou nutrientes).

3. MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

3.1. Considerações iniciais

Este capítulo, apoiado na literatura existente, principalmente nas mais recentes diretivas internacionais que servem de apoio à prática de coberturas verdes, pretende desenvolver um Manual de Boas Práticas para a conceção, instalação e manutenção de coberturas verdes, aplicado ao caso Português.

Em primeiro lugar, serão abordados os aspetos mais importantes para a definição da solução construtiva:

- Camadas funcionais (capítulo 3.2.1.);
- Configuração da solução construtiva e sistemas comerciais (capítulo 3.2.2.);
- Estrutura resistente (capítulo 3.2.3.);
- Clima (capítulo 3.2.4.);
- Desempenho térmico (capítulo 3.2.5.).

Em segundo lugar, serão analisados os requisitos específicos desta tecnologia construtiva numa perspetiva de apoio ao planeamento, instalação e manutenção destes sistemas construtivos:

- Planeamento, viabilidade e implementação (capítulo 3.3.);
- Gestão e manutenção (capítulo 3.4.).

O Manual de Boas Práticas desenvolvido ao longo deste capítulo servirá de base à metodologia de análise e verificação prática dos casos de estudo a desenvolver no capítulo 4, onde se pretende, em primeiro lugar, verificar as boas práticas de uma cobertura verde de um edifício de construção recente, e, em segundo lugar, se procura verificar a viabilidade da adaptação de um sistema de cobertura verde a uma cobertura plana de um edifício de construção antiga.

3.2. Solução construtiva

Os sistemas de revestimento de cobertura verde são compostos por várias camadas funcionais. Estas camadas são combinadas de forma a alcançar a plena funcionalidade e harmonia de todo o conjunto, visando o melhor efeito possível. Cada uma delas poderá satisfazer várias exigências funcionais. Porém o objetivo final da solução será sempre o de fornecer uma variedade especifica de plantas e o respetivo espaço para as suas raízes, conter os nutrientes necessários, reter a água, drenar o excesso da mesma e selar a cobertura, garantindo a sua estanquidade à água.

3.2.1. Camadas Funcionais

Os sistemas de coberturas verdes contêm as seguintes camadas funcionais (Fig. 3.2.1): vegetação, substrato de crescimento, camada filtrante, camada drenante, camada de proteção, barreira de raízes e membrana de impermeabilização. Nos casos de incompatibilidade química, deve ser incorporada uma camada de separação

para manter a membrana de impermeabilização e as restantes camadas funcionais separadas (IGRA, 2013). Os critérios de qualidade e os métodos de ensaio dos materiais são definidos pela FLL (2008).

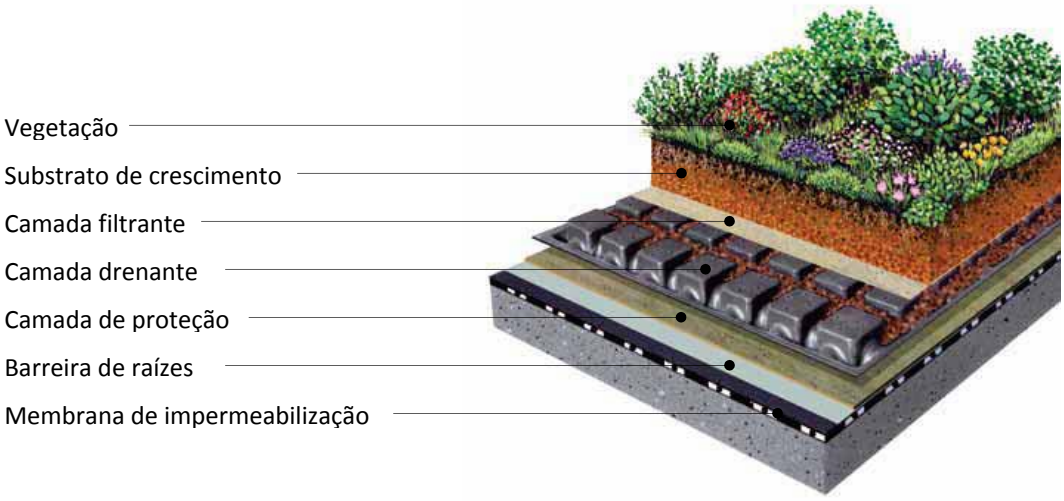


Fig. 3.2.1 – Camadas funcionais. (Fonte: ZinCo®, 2013a)

- **Vegetação**

Esta camada é a componente viva do sistema de cobertura verde. A correta seleção das espécies vegetais pode determinar o sucesso ou o fracasso da solução construtiva. Os critérios de seleção, descritos no capítulo 3.3.7.2., devem considerar as condições climáticas e os requisitos de manutenção das plantas (TGRTAG, 2010).

- **Substrato de crescimento**

O substrato de crescimento (capítulo 3.3.7.1.) é a base de suporte das plantas e deve permitir um bom desenvolvimento das suas raízes. Deve ter todas as propriedades físicas, químicas e biológicas básicas necessárias. Tem de ser estruturalmente estável, capaz de absorver e armazenar a água enquanto permite que o excesso da mesma se infiltre na camada drenante. Mesmo quando saturado, deve ser capaz de conter um volume de ar adequado para o tipo de vegetação plantada (FLL, 2008).

- **Camada filtrante**

A camada filtrante (capítulo 3.3.6.4.) impede que as partículas finas do substrato sejam lixiviadas para a camada drenante, evitando que seja afectada a sua capacidade de drenagem bem como a das saídas de escoamento (FLL, 2008).

- **Camada drenante**

A camada drenante (capítulo 3.3.6.) contém as cavidades suficientes para eliminar o excesso de água enquanto a canaliza para as saídas de escoamento. Desde que sejam utilizados os materiais adequados, também pode atuar como reservatório de retenção e acumulação de água, como espaço adicional para o desenvolvimento das raízes e como proteção às camadas subjacentes (FLL, 2008).

- **Camada de proteção**

A camada de proteção (capítulo 3.3.5.3.) fornece proteção adicional ao sistema de impermeabilização (membrana de impermeabilização / barreira de raízes) evitando danos mecânicos durante a fase de instalação. Dependendo da espessura e dos materiais utilizados, pode funcionar como camada de retenção de água e de nutrientes ou como camada de separação (FLL, 2008; IGRA, 2013).

- **Barreira de raízes**

A barreira de raízes (capítulo 3.3.5.2.) protege a membrana de impermeabilização e as camadas subjacentes de serem danificadas pela penetração das raízes. Se a membrana de impermeabilização não for resistente à penetração de raízes, de acordo com os requisitos da FLL (2008), deve ser colocada uma barreira de raízes de modo a assegurar esta função.

- **Membrana de impermeabilização**

A membrana de impermeabilização (capítulo 3.3.5.1.) é a componente deste sistema construtivo que é partilhada com os tradicionais sistemas construtivos de revestimento de coberturas. O sistema de impermeabilização resiste à pressão hidrostática e assegura a estanquidade do edifício. Caso cumpra os requisitos de resistência à penetração de raízes da FLL (2008), pode assumir simultaneamente a função de barreira de raízes (TGRTAG, 2010).

- **Camada de separação**

A camada de separação é colocada para manter separados materiais quimicamente incompatíveis (por exemplo, as membranas em PVC e as membranas betuminosas) e para impedir tensões e níveis de atrito indesejados entre os diferentes materiais (FLL, 2008).

3.2.2. Configuração das soluções construtivas e sistemas comerciais

Os sistemas comerciais utilizados internacionalmente são, de uma forma geral, baseados nos desenvolvidos ao longo dos últimos 20 ou 30 anos pelas empresas alemãs de coberturas verdes. São sistemas algo complexos na sua configuração, com muitas opções de produtos e diferentes tipos de camadas. Esta complexidade surgiu, em parte, pela existência de muitos fabricantes e fornecedores de sistemas de coberturas verdes, com cada uma dessas empresas a desenvolver os seus próprios sistemas patenteados, e pela competição entre elas para poderem alcançar uma vantagem comercial. Por sua vez, à medida que o conceito de cobertura verde ganhava uma aplicação mais ampla na Alemanha, houve a necessidade de garantir a uniformidade e a segurança dos produtos através do investimento em novas tecnologias e investigação, procurando maximizar a sua fiabilidade (Dunnett e Kingsbury, 2008).

A FLL (2008) faz a distinção entre 2 tipos de construção (Fig. 3.2.2):

1. **<u>Construção em multi-camada</u>**

   • Consiste na separação das camadas drenante, filtrante e de suporte da vegetação, configurando-se com uma solução de **tripla camada**; ou na separação das camadas drenante e de suporte da vegetação, sendo que esta última, devido à sua composição material, desempenha simultaneamente a função de filtro, configurando-se como uma solução de **dupla camada**;

2. **<u>Construção em camada única</u>**

   • Consiste na aplicação de uma única camada de suporte da vegetação, que desempenha simultaneamente as funções de filtro e drenagem;

Em qualquer um dos tipos de construção é necessário prever a incorporação de materiais que atuem como barreira anti-raízes e como camada de proteção para proteger o sistema de impermeabilização e/ou a membrana anti-raízes (FLL, 2008).

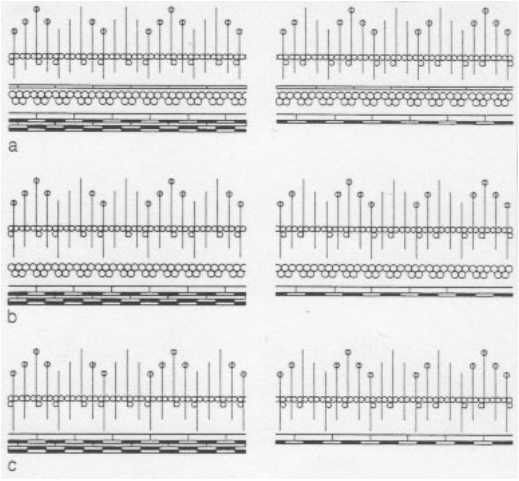


Fig. 3.2.2 – Diferentes soluções construtivas de coberturas verdes - a) tripla camada; b) dupla camada; c) camada única esq: camada de proteção, barreira de raízes e membrana impermeabilizante. dir: camada de proteção e membrana impermeabilizante/barreira raízes. (Fonte: Schunck et al, 2003)

Os sistemas existentes no mercado pretendem responder a objetivos específicos tipificando-os por forma a darem resposta aos diferentes benefícios que advêm da instalação deste género de solução construtiva. A vantagem desta tecnologia reside no facto de ao mesmo tempo que se dá prioridade a um desses benefícios, outros são também atingidos. Desta forma, procuram estabelecer-se níveis de valor ecológico, de cuidados de manutenção e de custo. Os sistemas comerciais são definidos pelas seguintes características técnicas:

a) Tipo de vegetação.
b) Tipo de substrato de crescimento da vegetação;
c) Peso;
d) Altura do sistema;
e) Possibilidade de utilização em coberturas inclinadas;
f) Capacidade de retenção e acumulação de água;
g) Coeficiente de escoamento;

Segundo o (GRG, 2011), o tipo de substrato de crescimento é a principal destas características técnicas a contribuir para a sua classificação (Quadro 3.1). A sua definição determina todas as outras características e todos os trabalhos de instalação e manutenção. Os substratos de crescimento da vegetação podem ser baseados em:

1. **<u>Tapetes pré-cultivados</u>**

   • Constituídos por tapetes pré-cultivados, como na Fig. 3.2.3, com *seduns* ou *flores do prado* colocados sobre um material de retenção de água (por exemplo, placas de lã de rocha para horticultura), ou uma fina camada de substrato;

2. **<u>Substratos vegetais</u>**

   • Constituídos por formulações específicas de diferentes materiais visando um determinado tipo de cobertura verde – extensiva, intensiva simples ou intensiva – e as necessidades especificas para o crescimento de um determinado tipo de plantas (Fig. 3.2.4);

3. **<u>Substratos que potenciem a biodiversidade</u>**

   • Constituídos por materiais naturais e/ou reciclados localmente visando a criação de habitats para uma determinada espécie ou variedades de fauna e flora, sem exigências para o crescimento das plantas, que é sobretudo espontânea, de crescimento natural e de baixa densidade (Fig. 3.2.5);

Fig. 3.2.3 – Tapetes pré-cultivados Xeroflor®. (Fonte: Cristal de Água, 2013)

Fig. 3.2.4 – Aplicação de substratos vegetais. (Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

Fig. 3.2.5 – Substrato para biodiversidade. (Fonte: Dunnet e Kingsbury, 2008)

Por outro lado, a forma de instalação dos sistemas comerciais tem vindo a ser um dos fatores de diferenciação entre as diversas empresas de coberturas verdes. A instalação pode ser realizada através de sistemas de aplicação *in situ* e sistemas de aplicação modular.

- **Sistemas de aplicação *in situ***

São a forma mais comum de aplicação de coberturas verdes na Europa e nos EUA. Consistem na instalação independente das diferentes camadas funcionais. Por este facto, a colocação de cada uma dessas camadas pode ser contratada individualmente, desde que se mantenham as devidas compatibilidades entre materiais. Com este tipo de instalação, ampliam-se as possibilidades de projeto, de biodiversidade e de vivência.

Quadro 3.1 – Classificação geral das coberturas verdes de acordo com as soluções construtivas comerciais. (adaptado de GRG, 2011)

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
Extensiva leve	• Potencial de biodiversidade baixo; • Pouca capacidade de retenção de água; • Utilização de tapetes de vegetação pré-cultivados; • Irrigação ocasional; • Sem necessidade de substratos complementares; • Substrato aberto.
Extensiva super leve	• Consiste na utilização de uma placa de drenagem fina (12 mm), um filtro geotêxtil/manta de retenção de água, e um tapete de vegetação pré-cultivado, em cerca de 25 mm de espessura; • Cargas impostas mínimas; • Irrigação ocasional; • Elevado potencial para adaptações de coberturas existentes; • Diversidade de vegetação limitada; • Tendência a secar.
Extensiva	• Profundidade do substrato ≤ 100 mm; • Necessidade de manutenção mínima; • Potencial de biodiversidade limitado; • Pouca capacidade de retenção de água; • Utilização de tapetes de vegetação pré-cultivados; • Em geral não necessita irrigação.
Intensiva simples	• Profundidade do substrato entre 100 mm e 200 mm; • Necessidade de manutenção periódica; • Maior diversidade e capacidade de suporte de plantas; • Capacidade de atenuação de águas pluviais; • Irrigação periódica.
Intensiva e Jardins de cobertura	• Profundidade do substrato ≥ 200 mm; • Necessidade de manutenção regular; • Incorporação de relvados e jardins e possibilidade fomento da biodiversidade; • Capacidade de atenuação de águas pluviais; • Criação de espaços de lazer e bem-estar – Aumento das amenidades; • Irrigação regular.
Biodiversidade (Extensiva)	• Criação de habitats semi-naturais para uma determinada espécie ou grupo de espécies de fauna e flora; • Vegetação espontânea de colonização natural; • O nível de intervenção humana é limitado; • Enfoque no aumento do índice de biodiversidade.
Nota: Estas definições nem sempre são assim definidas, sendo que é possível existirem soluções construtivas que apresentem características de mais do que um tipo de solução, por exemplo um substrato de 200 mm de espessura que apresente uma necessidade de manutenção mínima.	

- **Sistemas de aplicação modular**

Os sistemas modulares, como os apresentados na Fig. 3.2.6, são baseados em unidades interligadas que contêm um substrato de crescimento, um sistema de drenagem, e as plantas. A sua vantagem consiste na grande flexibilidade e facilidade de instalação. As típicas camadas funcionais de uma cobertura verde são substituídas por um módulo pré-plantado, que pode ser transportado (apenas com as plantas já estabelecidas) até à altura da cobertura através de elevador ou grua e colocado diretamente sobre a membrana de impermeabilização, permitindo um efeito de enverdecimento imediato. Por outro lado permite uma maior facilidade de acesso ao sistema de impermeabilização, caso seja necessária alguma reparação, e uma maior agilidade no processo de alteração da aparência da cobertura verde, seja através do re-arranjo dos módulos existentes, ou pela substituição por novos módulos com vegetação diferente. Permite ainda experimentar o sistema numa parte da cobertura sem que seja necessário cobri-la por completo, e também colocar os módulos diretamente sobre os sumidouros de drenagem que nela existam. No entanto, uma vez que cada módulo é

uma unidade independente, existem menores possibilidades de movimentos laterais de água e nutrientes ou de propagação de plantas, acima e abaixo do substrato vegetal (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Fig. 3.2.6 – Sistema modular LiveRoof®. (Fonte: LiveRoof®, 2013)

3.2.3. Estrutura resistente

As soluções construtivas de coberturas verdes podem ser executadas sobre diferentes tipos estruturas resistentes, quer sejam em aço, madeira, betão armado ou mesmo plástico e materiais compósitos (Dunnett e Kingsbury, 2008). Segundo a IGRA (2013) a base de uma cobertura verde consiste numa estrutura de suporte devidamente impermeabilizada e com a adequada capacidade de carga.

A estrutura de suporte da cobertura tem a função de (Batista, 2004):

a) Suportar as cargas, sobrecargas e ações mecânicas atuantes na cobertura transmitindo-as e distribuindo-as adequadamente à restante estrutura do edifício;
b) Apresentar condições superficiais compatíveis com a execução das demais camadas sobrejacentes;
c) Contribuir para a preservação da impermeabilização – O desempenho da estrutura de suporte influencia o sistema de impermeabilização (grau de fissuração, movimentação devido às cargas e alterações térmicas).

Quanto ao seu desempenho, está em causa a sua deformabilidade. Lopes (1994) refere-o como sendo um aspeto importante por poder ser um fator limitativo da acessibilidade da cobertura e ao mesmo tempo poder ter influência substancial nas camadas sobrejacentes, nomeadamente na impermeabilização. Assim, quanto à deformabilidade da estrutura resistente, podemos distinguir estruturas flexíveis ou rígidas, consoante as deformações relativas na direção perpendicular ao plano da cobertura sejam, respetivamente, mais ou menos significativas, para os vãos e soluções correntes dessas estruturas (Lopes, 1994). A capacidade de carga da estrutura resistente é variável em função do material e do cálculo estrutural, de acordo como os critérios descritos no capítulo 3.3.2.

Lopes (2004) refere que no caso das coberturas com vegetação intensiva, é quase obrigatório, até por razões económicas, que a estrutura resistente seja formada por lajes de betão armado, moldado no local ou utilizando elementos prefabricados. No caso de coberturas com vegetação extensiva, para além destes tipos de estrutura

resistente, podem ainda aplicar-se sobre estruturas resistentes de madeira ou de chapa metálica, devido à redução das ações permanentes, em particular do substrato de crescimento (Lopes, 2004).

3.2.4. Clima

Um dos aspetos mais relevantes a ter em consideração na conceção de sistemas de coberturas verdes diz respeito ao ajustamento dos mesmos às condições climáticas especificas da sua localização. O clima tem, naturalmente, influência direta no desempenho das coberturas verdes ao longo da sua vida útil, e por consequência, representa um papel fundamental no processo projetual e de definição da solução construtiva a adotar.

Os principais parâmetros climáticos que importa compreender para o estudo desta tecnologia são a temperatura, a precipitação e a intensidade do vento. Estes parâmetros permitem-nos essencialmente perceber quais as características das plantas e dos substratos de crescimento a ser selecionados e quais são as necessidades hídricas, de gestão das águas pluviais e de proteção contra o vento que devem ser acauteladas.

A temperatura, a precipitação e a intensidade do vento são variáveis climáticas que variam de acordo com a localização específica. A uma escala mesoclimática e local são condicionadas por diversos fatores geomorfológicos, entre os quais a topografia, a presença de vegetação, a continentalidade ou maritimidade, a altitude e a latitude, etc. (Alcoforado et al, 2006; Farrall, 2011). A uma escala microclimática, nomeadamente em microclimas urbanos, as construções e as emissões de poluentes atmosféricos dão origem ao aumento da temperatura e à diminuição da intensidade do vento, provocando alterações nos níveis de humidade relativa e de precipitação. As ilhas de calor, principal consequência dos microclimas urbanos, têm implicações no conforto e na saúde dos cidadãos, no consumo de energia e de água e na qualidade do ar (Alcoforado et al, 2006). Adicionalmente são necessárias considerar a exposição ao sol e ao vento, características próprias de cada cobertura, que poderão também condicionar a definição da solução construtiva a adotar.

3.2.4.1. Caracterização do clima em Portugal

Conforme convencionado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o clima é caracterizado pelos valores médios dos vários parâmetros climáticos num período de 30 anos , designando-se valor normal de um elemento climático o valor médio correspondente a um número de anos suficientemente longo para se admitir que ele representa o valor predominante daquele elemento no local considerado (IPMA, I.P., 2013).

O clima em Portugal, de uma forma geral, considera-se como clima Mediterrânico. Dentro desta classificação existem variantes que importa aprofundar. Com base no IPMA, I.P. (2013), os resultados das normais climatológicas 1971-2000, as últimas disponíveis, permitem identificar os diferentes tipos de clima, tendo-se utilizado para Portugal Continental a classificação de Köppen-Geiger. A Fig. 3.2.7 apresenta os resultados obtidos pela cartografia para esta classificação climática e permitem confirmar que na maior parte do território

Continental o clima é Temperado, do Tipo C, verificando-se o Subtipo Cs (Clima temperado com Verão seco) e as seguintes variedades:

• **Csa**, clima temperado com Verão quente e seco nas regiões interiores do vale do Douro (parte do distrito de Bragança), assim como nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela (exceto no litoral oeste do Alentejo e Algarve);

• **Csb**, clima temperado com Verão seco e suave, em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral oeste do Alentejo e Algarve;

• Numa pequena região do Baixo Alentejo, no distrito de Beja, encontra-se Clima Árido – Tipo B, Subtipo BS (clima de estepe), variedade **BSk** (clima de estepe fria da latitude média).

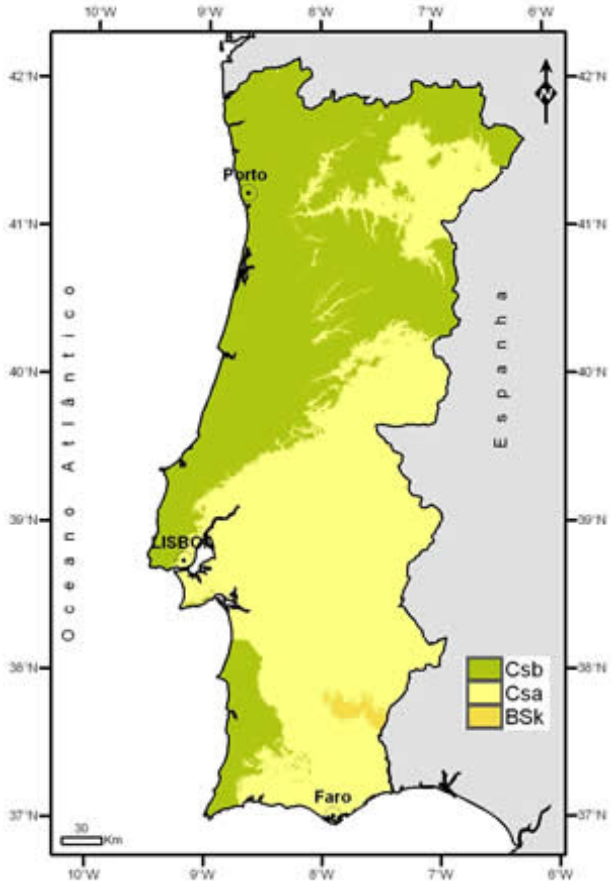


Fig. 3.2.7 – Classificação climática de Köppen para o território Continental. (Fonte: IPMA, I.P., 2013).

Em relação ao Arquipélago da Madeira e Açores de acordo com a classificação de Koppen original, verifica-se que (IPMA, I.P., 2013):

• Madeira é do tipo Csa, clima temperado com verão quente e seco;

• Nos Açores, o Grupo Oriental é do tipo Csb, clima temperado com verão seco e suave, os Grupos Central e Ocidental são do tipo Cfb, clima oceânico, também por vezes chamado de clima temperado marítimo (clima temperado húmido com verão temperado e que ocorre em regiões afastadas das grandes massas continentais).

Relativamente aos parâmetros temperatura, precipitação e intensidade do vento, Farrall (2011) refere as seguintes características em Portugal Continental:

a) A temperatura média anual apresenta valores mais elevados nas regiões abaixo do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e valores mais baixos nas regiões do interior norte. As temperaturas variam cerca de 7°C nas terras altas do interior norte e centro e cerca de 18°C no litoral sul;
b) A precipitação média anual apresenta os valores mais altos nas regiões do Minho e Douro Litoral e os valores mais baixos no interior sul e em algumas regiões do interior norte (Fig. 3.2.8);
c) A intensidade do vento apresenta valores mais elevados nas regiões costeiras e terras altas e valores mais baixos nas regiões interiores e de cotas altimétricas menores .

Os gráficos termo-pluviométricos, como os apresentados na Fig. 3.2.9, são instrumentos úteis que relacionam a temperatura e a precipitação de uma determinada localização permitindo perceber qual o seu Balanço Hídrico (precipitação, evapotranspiração potencial, capacidade de água disponível no solo; Farrall, 2011). Esta análise é fundamental para prever quais os períodos de maior ou menor disponibilidade de água.

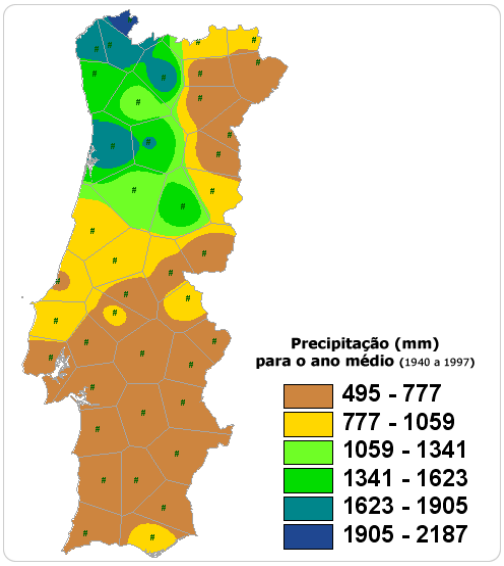


Fig. 3.2.8 – Precipitação para o ano médio de 1940 a 1997. (Fonte: SNIRH, 2013)

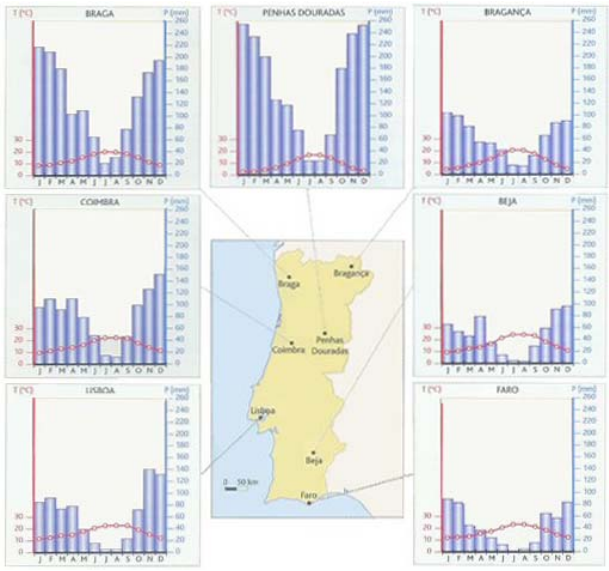


Fig. 3.2.9 – Gráficos termo-pluviométricos de algumas estações meteorológicas de Portugal Continental. (Fonte: prof2000.pt, 2013)

3.2.4.2. Zonas climáticas definidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

No ano 2006 em Portugal, tendo em vista impulsionar a necessidade de conhecer e melhorar o desempenho energético e a qualidade do ar interior dos edifícios e permitir aos seus utilizadores obter informação sobre os consumos de energia, entrou em vigor um novo enquadramento legislativo que deu origem ao novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, definido por RCCTE (DL 80/2006), e ao novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, definido por RSECE (DL 79/2006). As exigências e requisitos neles estabelecidos resultam da transposição da Diretiva Europeia (2002/91/CE),

relativa ao desempenho energético dos edifícios, e dependem do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, definido por SCE (DL 78/2006).

No RCCTE, a caracterização do comportamento térmico dos edifícios faz-se através da quantificação de um certo número de índices e de parâmetros. Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (*Nic*), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (*Nvc*) e das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (*Nac*), bem como as necessidades globais de energia primária (*Ntc*). Os parâmetros complementares a quantificar sob condições específicas são: os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares, dos elementos da envolvente; a classe de inércia térmica do edifício ou da fração autónoma; o fator solar dos vãos envidraçados; e a taxa de renovação de ar. Por forma a obter dados climáticos de referência que refletissem as diferenças entre as diversas regiões do país, entre o Norte e o Sul, o litoral e o interior, diferenças de altitude, e situações insulares, o País foi dividido em três zonas climáticas de Inverno (I_1, I_2, I_3) e em três zonas climáticas de Verão (V_1, V_2, V_3), conforme o refletido na Fig. 3.2.10.

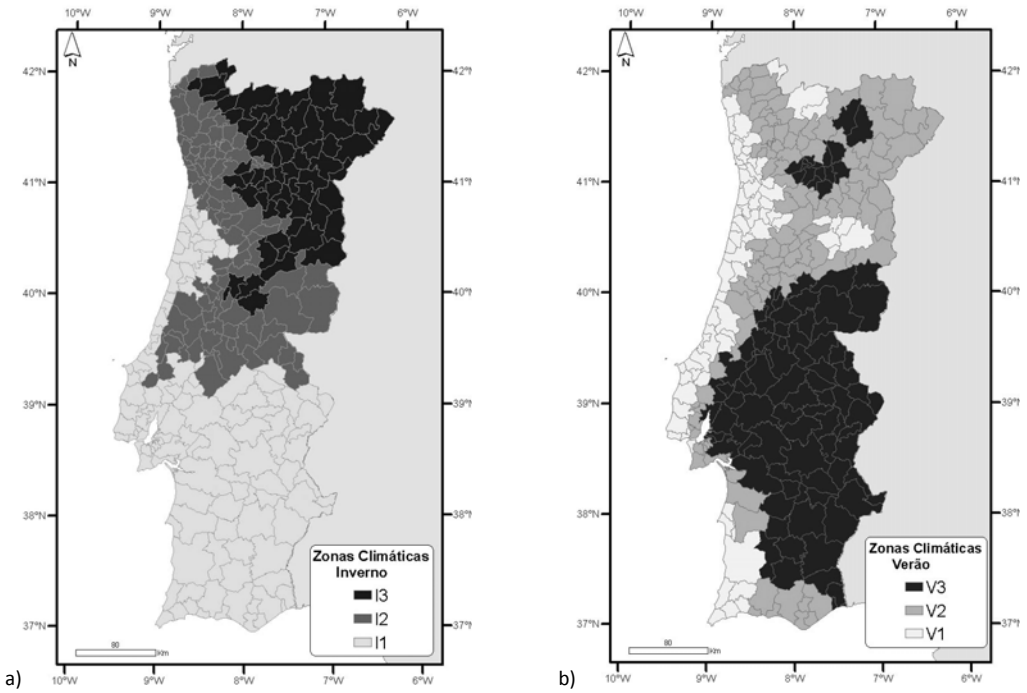
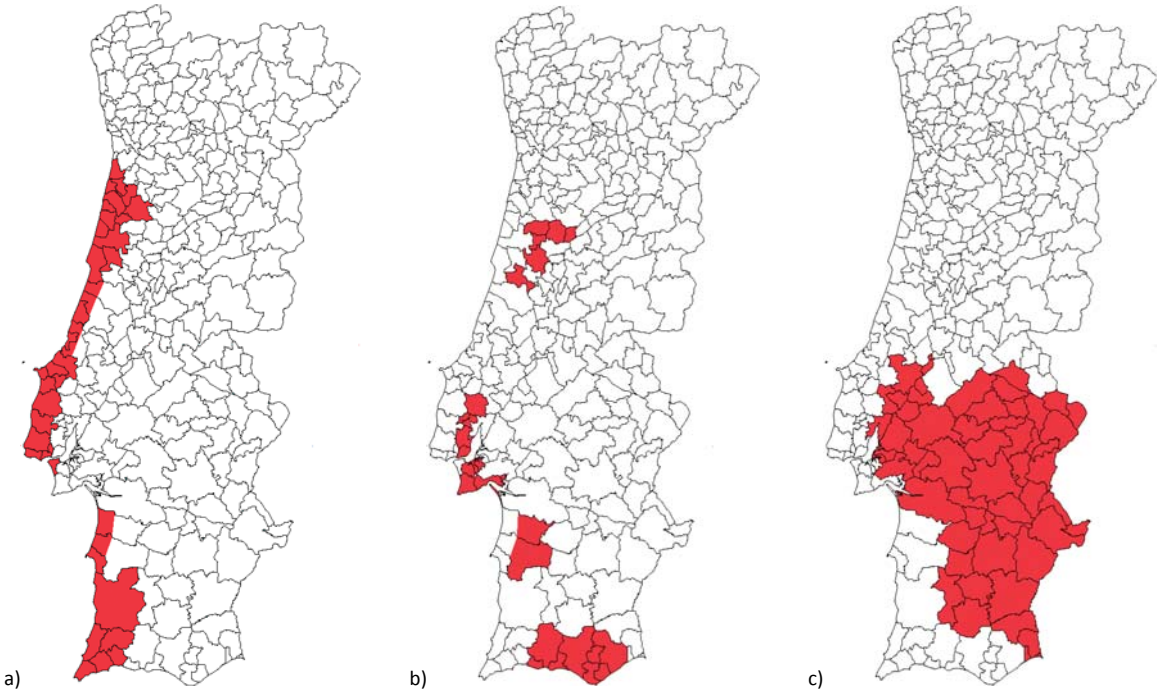


Fig. 3.2.10 – Zonas climáticas definidas no RCCTE – a) Inverno; b) Verão. (Fonte: DL 80/2006)

De acordo com o especificado no RCCTE, os dados climáticos de referência são descritos para cada concelho de Portugal Continental e para cada Região autónoma e deverão refletir: o número de graus-dias de aquecimento (na base de 20°C) correspondente à estação convencional de aquecimento; a duração da estação de aquecimento; a temperatura exterior de projeto de Verão; e a amplitude térmica média diária do mês mais quente. Estes dados permitem perceber o grau de severidade climática de uma localização em particular, constituindo-se deste modo como um instrumento útil na definição da solução construtiva de cobertura verde.

A partir destes dados, as Fig. 3.2.11, 3.2.12 e 3.2.13 apresentam a seguinte caracterização climática para cada localização (ver Anexo 1) realizada por Gonçalves e Graça (2004):



a) b) c)

Fig. 3.2.11 – Localização dos concelhos com clima: a) I_1-V_1; b) I_1-V_2; c) I_1-V_3. (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004)

• **I_1-V_1** – Climas mais amenos do território continental, facto que é refletido numa menor exigência das condições regulamentares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1500 (Caldas da Rainha) e 940 (Portimão). No Verão, devido e à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se amplitudes térmicas diárias menores;

• **I_1-V_2** – Litoral sul e Algarve, Região de Lisboa e alguns concelhos da zona Centro. A influência marítima suaviza alguns deste climas. O Verão deverá merecer um cuidado mais especial que o Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1490 (Soure) e 1010 (Olhão). No Verão, devido e à preponderância da influência estabilizadora marítima verificam-se menores amplitudes térmicas diárias;

• **I_1-V_3** – As exigências de Verão deverão ter uma importância superior às de Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1470 (Entroncamento) e 1100 (Castro Marim). A maior preponderância da influência continental, que se reflete em climas mais secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica forte;

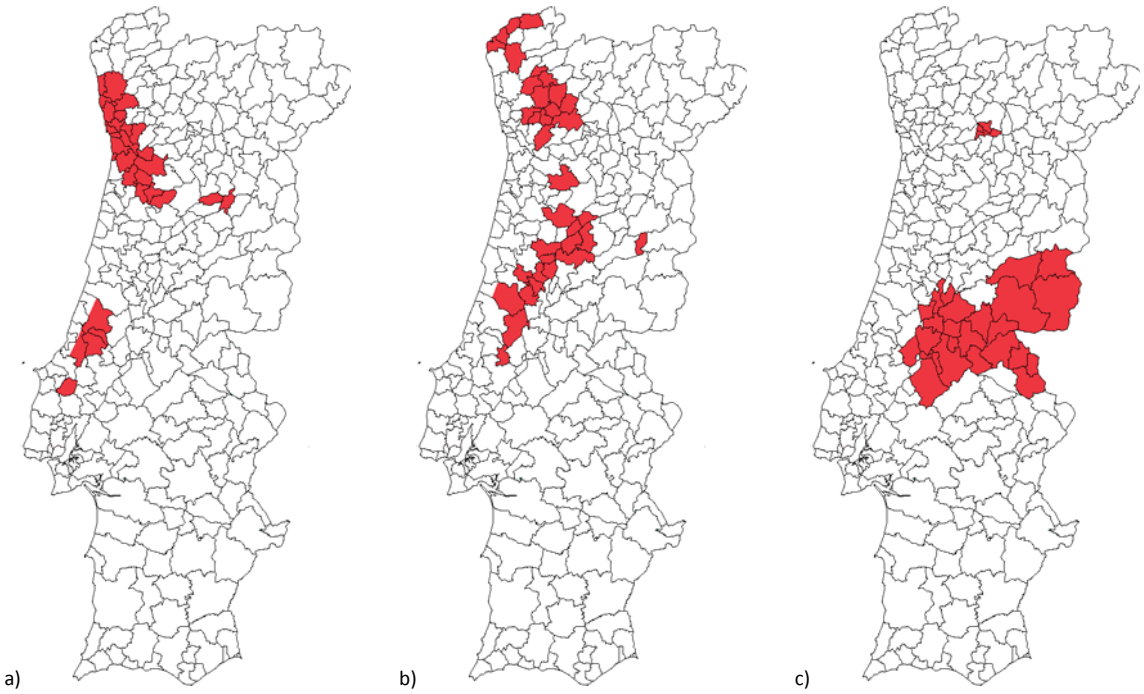


Fig. 3.2.12 – Localização dos concelhos com clima: a) I_2-V_1; b) I_2-V_2; c) I_2-V_3. (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004)

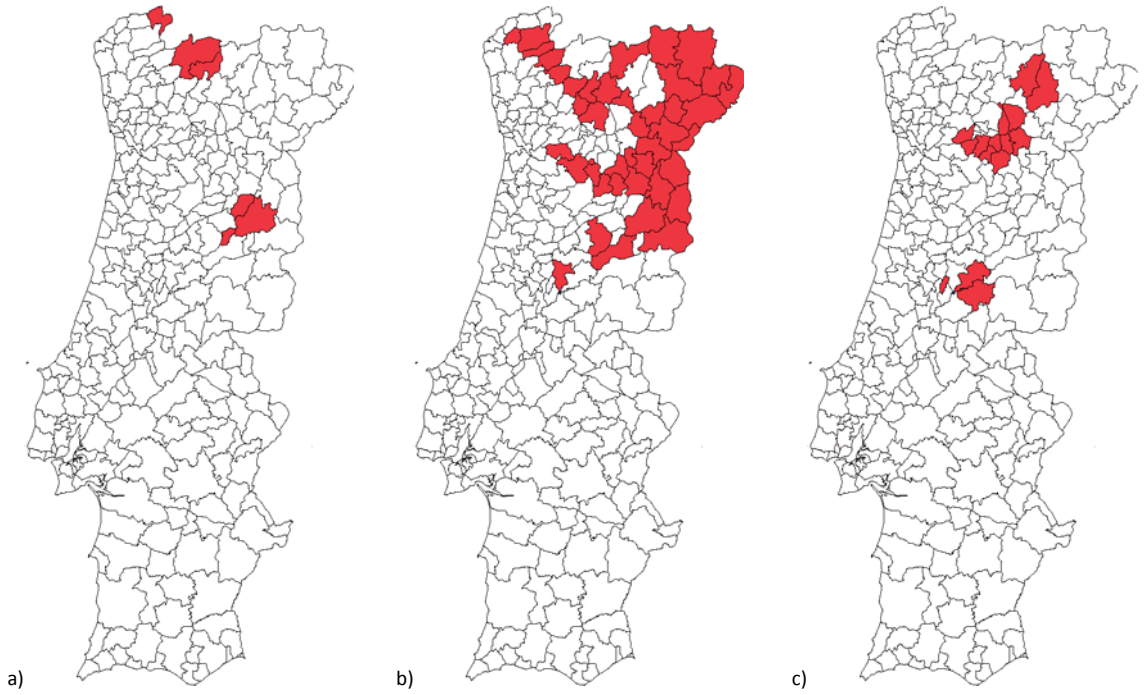


Fig. 3.2.13 – Localização dos concelhos com clima: a) I_3-V_1; b) I_3-V_2; c) I_3-V_3. (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004)

• **I_2-V_1** – Litoral norte e Centro. A influência marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno a estação mais exigente, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar os ganhos solares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2090 (Penalva do Castelo) e 1530 (Cadaval). No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se junto à costa menores amplitudes térmicas diárias relativamente a regiões interiores de maior influência continental;

• **I_2-V_2** – Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2090 (Fafe) e 1510 (Penacova). No Verão, as amplitudes térmicas diárias poderão considerar-se como valores médios, o que já exige cuidados maiores com a inércia térmica dos edifícios;

• **I_2-V_3** – Zona do Vale do Tejo e Alentejo interior e dois concelhos junto ao rio Douro. As condições de Verão sobrepõem-se às de Inverno, pelo que deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares. Climas secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica pesada. As diferenças com a zona I_1-V_3 advêm de uma latitude superior que motiva maiores necessidades de aquecimento no Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2100 (Santa Marta de Penaguião) e 1510 (Vila Velha de Ródão);

• **I_3-V_1** – O Inverno é muito mais agressivo que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. Os Graus Dias de Aquecimento variam entre 3000 (Manteigas) e 2120 (Vale de Cambra). No Verão verificam-se baixas amplitudes térmicas diárias, porém uma inércia térmica forte é muito conveniente devido ao Inverno e beneficia as condições de Verão;

• **I_3-V_2** – Alguns concelhos de Trás-os-Montes, Douro, Minho e Beira Alta. Inverno é mais exigente que o Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para absorver ganhos de radiação solar. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2860 (Vila Pouca de Aguiar) ou 2850 (Bragança) e 2180 (Cabeceiras de Basto e Paredes de Coura). No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias relevantes devido à influência do clima continental, pelo que é muito conveniente uma inércia térmica forte tanto de Inverno como de Verão;

• **I_3-V_3** – Climas mais agressivos do território continental, tanto de Inverno como de Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2670 (Tarouca) e 2150 (Baião). No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias muito elevadas devido à influência do clima continental, pelo que é imprescindível uma inércia térmica forte.

3.2.5. Desempenho térmico

O desempenho térmico dos sistemas de coberturas verdes constitui-se como um dos fatores importantes a considerar na definição da solução construtiva. À medida que a eficiência energética se torna uma prática comum e consciente na conceção e construção de edifícios, as coberturas verdes podem contribuir de forma significativa para um melhor comportamento térmico dos mesmos, desde que devidamente ajustadas às condições climáticas específicas da sua localização. Este ajustamento permitirá às coberturas verdes constituírem-se como uma estratégia bioclimática passiva na conceção dos edifícios, com influência direta no conforto térmico interior e com potenciais benefícios energéticos na redução das necessidades de aquecimento no Inverno e de arrefecimento no Verão (Castleton, et al, 2010).

3.2.5.1. Propriedades térmicas das coberturas verdes

A Fig. 3.2.14 apresenta os conceitos fundamentais para esclarecer as propriedades térmicas das coberturas verdes (Hui, 2009). De uma forma geral, as condições climáticas externas (radiação solar, temperatura,

humidade relativa e ventos) são reduzidas à medida que passam através da folhagem da cobertura verde (Hui e Chan, 2011). A grande quantidade de energia solar é absorvida para o crescimento das plantas através das suas funções biológicas, tais como a fotossíntese, a respiração, a transpiração e a evaporação. As trocas de calor em sistemas de cobertura verde são dominados por quatro mecanismos (Del Barrio, 1998; Niachou, et al., 2001; Liu e Baskaran, 2003; Feng, Meng e Zhang, 2010; Hui e Chan, 2011):

1. Evapotranspiração através do arrefecimento evaporativo pelas plantas e substrato de crescimento;
2. Sombreamento direto da cobertura pelas plantas;
3. Isolamento térmico adicional das plantas e do substrato de crescimento;
4. Efeito de inércia térmica por parte do substrato de crescimento.

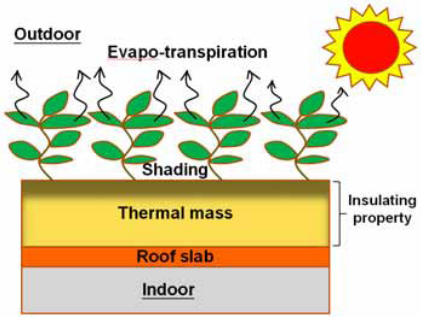


Fig. 3.2.14 – Propriedades térmicas das coberturas verdes. (Fonte: Hui, 2009)

Os benefícios térmicos das coberturas verdes podem ser estudados sob dois aspetos (Hui, 2009; Wong et al., 2003b). Em primeiro lugar, através do efeito direto sobre o edifício, pode controlar a temperatura da superfície da cobertura e os ganhos de calor do edifício, resultando numa redução do consumo de energia (Castleton, et al, 2010). Em segundo lugar, através do efeito indireto para o meio ambiente, pode diminuir a temperatura urbana e ajudar a mitigar os impactos adversos das ilhas de calor urbanas (Hui e Chan, 2011).

Castleton, et al. (2010), através da revisão da literatura existente, apresentam as seguintes conclusões sobre o contributo dos substratos de crescimento no desempenho térmico da solução construtiva:

a) Os substratos mais espessos têm melhor capacidade de reduzir os ganhos e as perdas de calor entre o interior e o exterior do edifício;
b) Os substratos menos densos, com mais ar no seu interior, são melhor isolantes;
c) O teor de humidade nos substratos afeta a dimensão das perdas de calor por evapotranspiração. Em casos de substratos mais saturados, verificam-se maiores perdas de calor devido aos efeitos de uma elevada evapotranspiração. A condutividade do solo também aumenta com o teor de humidade, ou seja, os substratos mais secos oferecem melhores isolamentos térmicos.

Relativamente às plantas e ao seu contributo para o bom desempenho térmico das cobertura verdes, Dunnett e Kingsbury (2008) referem que devem manter-se vivas e ativas, por forma a não se perder o seu efeito de sombra e de evapotranspiração. Por esta razão, é importante manter os níveis adequados de água nos

substratos de crescimento. Na Alemanha, as investigações sobre o valor de isolamento conseguido por diferentes tipos de vegetação indicam que uma vegetação sempre verde e uniforme parece ser melhor do que uma vegetação mista, como um prado de flores selvagens que colapsam para formar um tapete de caules e folhas mortas com algumas bolsas de ar, enquanto que, por exemplo, um relvado de relva fina forma uma cobertura mais contínua e com melhor capacidade de criação de uma massa de bolsas de ar (Dunnett e Kingsbury, 2008). Os mesmos autores, citando Peck et al. (1999), revelam que uma camada de vegetação de gramíneas de 20 a 40 cm de altura, num substrato de crescimento de 20cm de espessura é equivalente a 15cm de isolamento térmico em lã mineral.

3.2.5.2. Impacto no desempenho energético dos edifícios

Nos edifícios, as perdas e os ganhos de calor pela cobertura assumem por vezes um papel particularmente importante (Gonçalves e Graça, 2004). Nos estudos de Alcazar e Bass (2005) e Martens e Bass (2006) estabelece-se que o potencial de poupança energética para um edifício com cobertura verde em relação a outro com uma cobertura convencional se revela mais significativo para edifícios baixos do que para edifícios altos, por possuir uma percentagem de área de cobertura mais elevada relativamente aos restantes elementos construtivos. No estudo de Alcazar e Bass (2005) verifica-se que, para edifícios mais altos, a partir do 3º piso abaixo da cobertura não se verificam poupanças adicionais, sugerindo que as poupanças energéticas que derivam das coberturas verdes só serão efetivas nos últimos pisos. Contudo, enquanto que os efeitos indiretos, assim como a maior parte dos benefícios inerentes à instalação de coberturas verdes, apenas se manifestam a uma escala maior, de bairro ou de cidade, os efeitos diretos podem representar benefícios económicos para cada edifício em particular, podendo ser um argumento forte para sua instalação.

O efeito de redução da temperatura na superfície da cobertura, em parte devido ao efeito de sombra e em parte devido ao efeito de evapotranspiração, é sugerido, por Castleton, et al. (2010), como potenciador do aumento da eficiência dos sistemas de ventilação e de ar condicionado instalados nos edifícios, que dependem essencialmente da temperatura do ar de entrada. Poderá deduzir-se, portanto, que o bom desempenho térmico das coberturas verdes permite reduzir tanto os custos de operação dos edifícios, de aquecimento e arrefecimento, como os custos de construção, reduzindo a dimensão dos sistemas de ventilação e ar condicionado e a quantidade de isolamento térmico exigido (Dunnett e Kingsbury, 2008).

No sentido de estudar o impacto das coberturas verdes no desempenho energético dos edifícios, Jaffal et al (2012) realizaram uma comparação entre uma cobertura convencional e uma cobertura verde (tipo extensiva, com variedades sedums e sistema de irrigação,) numa casa unifamiliar situada em La Rouchelle (França). Foi considerado o clima temperado oceânico (Classificação climática de Köppen-Geiger: Cfb) e as temperaturas de referência de 19°C e 28°C para Inverno e Verão, respetivamente. Neste estudo foram verificados os seguintes benefícios na instalação de coberturas em edifícios:

a) Na cobertura convencional, as amplitudes térmicas na estrutura de suporte variam entre -6°C no Inverno e 58°C no Verão; a cobertura verde permite manter as amplitudes térmicas na estrutura de

suporte entre 4 e 20°C, durante o Inverno; no Verão, em comparação com a cobertura convencional, as temperaturas na estrutura suporte sofrem uma redução de até 30°C;

b) No Verão, o efeito de arrefecimento passivo é três vezes mais eficiente com uma cobertura verde; no Inverno, durante os dias mais frios, verificaram-se menores perdas de calor, no entanto nos dias mais quentes as perdas de calor aumentaram;

c) Durante o Verão, a temperatura do ar interior diminuiu 2°C e as necessidades energéticas anuais diminuíram 6%;

d) Os efeitos benéficos da cobertura verde na redução da temperatura do ar interior no Verão e na redução das necessidades de arrefecimento e de aquecimento dependem muito do nível de isolamento térmico na cobertura. A partir do Quadro 3.2, verifica-se que estes sistemas construtivos são termicamente mais vantajosos na adaptação de edifícios existentes do que na construção de edifícios novos, por apresentarem benefícios mais significativos quando aplicados em edifícios sem isolamento ou com isolamento moderado.

Quadro 3.2 – Média e máxima temperatura do ar interior. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em La Rouchelle para diferentes espessuras de isolamento térmico (adaptado de Jaffal et al, 2012).

Isolamento (cm)	**Temp. média** (°C)		**Temp. máxima** (°C)		**Energia Aquecimento** (kWh /m^2/ano)		**Energia Arrefecimento** (kWh /m^2/ano)		**Energia total** (kWh /m^2/ano)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
0	29,3	22,8	33,8	24,5	133,6	69,8	7,0	0,0	140,6	69,8
5	28,4	25,4	30,1	27,1	45,6	43,0	2,5	0,0	48,1	43,0
10	28,4	26,4	30,0	28,0	36,0	36,1	2,5	0,1	38,5	36,2
15	28,4	26,9	30,0	28,5	32,4	32,8	2,5	0,4	34,9	33,2
20	28,4	27,1	30,0	28,8	30,5	31,0	2,5	0,7	33,0	31,7
25	28,4	27,4	30,0	29,0	29,3	29,8	2,5	0,9	31,8	30,7
30	28,4	27,5	30,0	29,1	28,5	29,0	2,5	1,1	31,0	30,1

(1) Cobertura convencional; (2) Cobertura verde

Quadro 3.3 – Média e máxima temperatura do ar interior. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em Atenas, La Rouchelle e Estocolmo (adaptado de Jaffal et al, 2012).

Cidade	**Temp. média** (°C)		**Temp. máxima** (°C)		**Energia Aquecimento** (kWh /m^2/ano)		**Energia Arrefecimento** (kWh /m^2/ano)		**Energia total** (kWh /m^2/ano)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Atenas	33,9	31,3	35,4	32,7	14,1	15,2	26,4	12,5	40,5	27,7
La Rouchelle	28,4	26,4	30,1	28,0	36,0	36,1	2,5	0,1	38,5	36,2
Estocolmo	25,6	24,2	27,2	25,8	131,0	120,3	0,0	0,0	131,0	120,3

(1) Cobertura convencional; (2) Cobertura verde

O mesmo estudo, através dos dados apresentados no Quadro 3.3, faz ainda uma comparação com outros dois tipos de clima – o clima temperado mediterrânico de Atenas (Classificação climática de Köppen-Geiger: Csa) e o clima continental húmido de Estocolmo (Classificação climática de Köppen-Geiger: Dfb). Jaffal et al. (2012) constataram que a eficiência das coberturas verdes depende muito do clima. A melhoria do conforto térmico e a redução das necessidades de arrefecimento são mais eficazes nos climas quentes. No entanto, uma redução significativa das necessidade de aquecimento pode ser observada no clima mais frio. O dado relevante resulta da possibilidade de aumento das necessidades de aquecimento nos climas quentes, mas esse aumento é menor quando comparado com a redução das necessidades de arrefecimento. De uma forma geral, as

coberturas verdes reduziram as necessidades totais de energia nos três tipos de clima estudados – quente, temperado e frio. Verificaram-se reduções de 32% (12,8 kWh /m^2/ano) no clima mediterrânico (quente) de Atenas, de 6% (2,3 kWh /m2 /ano) no clima temperado de La Rouchelle, e de 8% (10,7 kWh /m^2 /ano) no clima frio de Estocolmo.

Assim sendo, e com base no documento de Gonçalves e Graça (2004), sobre as diferentes Estratégias Bioclimáticas a adotar na conceção de edifícios em Portugal, as coberturas verdes poderão ser vistas como estratégias bioclimáticas na maior parte do território nacional (Fig. 3.2.15). Principalmente como técnica de arrefecimento passivo nas seguintes zonas climáticas: I_1-V_3; I_2-V_2; I_2-V_3; I_3-V_1; I_3-V_2; e I_3-V_3 .

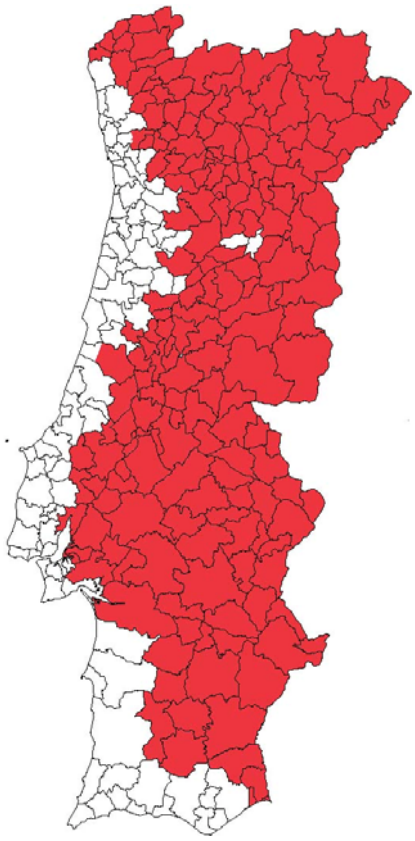


Fig. 3.2.15 – Zonas climáticas RCCTE com potencial para utilização de coberturas verdes como técnica passiva de arrefecimento.
Adaptado de: Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal de Gonçalves e Graça (2004)

3.2.5.3. Efeito sinérgico da integração de sistemas

Como vimos no capítulo 2.5.1., a integração de painéis fotovoltaicos em coberturas verdes pode trazer benefícios económicos, devido ao efeito sinérgico entre os dois sistemas. As Fig. 3.2.16 e 3.2.17 representam esta sinergia verificada por Hui e Chan (2011). A temperatura ambiente na superfície do substrato é 3 a 5°C mais baixa num sistema integrado que numa cobertura verde apenas, melhorando as condições para o desenvolvimento das plantas. No mesmo estudo verifica-se que em comparação com uma cobertura exposta (sem revestimento vegetal) a temperatura ambiente num sistema integrado é 5 a 11 °C mais baixa. Em relação à produção de energia, o sistema integrado revelou-se 4,3% mais eficiente que um montado em cobertura sem

revestimento vegetal, derivado do arrefecimento produzido pelas plantas. Ainda assim, Köhler et al. (2007) alertam para a maior manutenção exigida nestes casos, no sentido de as plantas não produzirem qualquer sombra sobre os painéis, e Hui e Chan (2011) recomendam que se deve restringir a vegetação ao tipo extensivo ou de porte baixo.

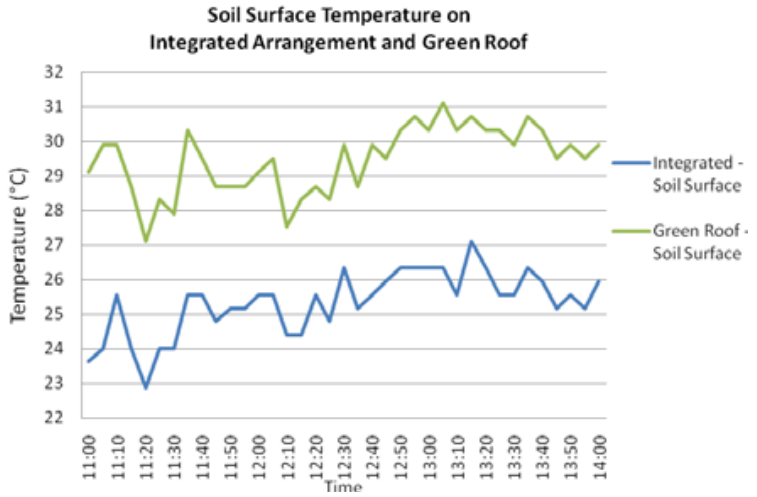


Fig. 3.2.16 – Temperatura do substrato de crescimento, com e sem integração de painéis. (Fonte: Hui e Chan, 2011)

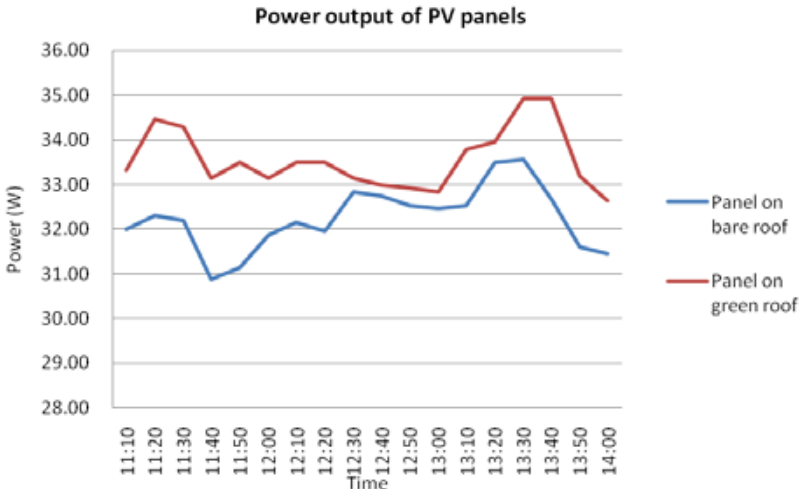


Fig. 3.2.17 – Produção de energia fotovoltaica em cobertura verde e cobertura exposta. (Fonte: Hui e Chan, 2011)

Dunnett e Kingsbury (2008) indicam ainda outros dois casos – Possmann Cider Factory e o Shakopee Mdewakanton Sioux Community Wastewater Treatment Plant Green Roof – para enunciar uma técnica de baixo consumo de energia para arrefecimento dos edifícios através da utilização de uma cobertura verde com espécies de plantas de solos saturados. A utilização de um sistema de circulação de águas cinzentas permite manter os níveis adequados de água no solo, obtendo por sua vez um efeito de evapotranspiração contínuo para arrefecimento enquanto que as plantas e os substratos purificam a água.

3.3. Planeamento, viabilidade e implementação

Na conceção de uma cobertura verde é importante estabelecer o que se pretende alcançar. A configuração do sistema de construtivo pode variar significativamente dependendo dos objetivos visados para sua instalação (GRO, 2011). É importante que sejam definidos de forma ponderada e precisa de modo a atingir um maior impacto e uma melhor eficiência dos custos. Poderão existir vários, mas nem todos serão compatíveis. De acordo com Grant (2006) a sua definição passará por um processo de priorização dos objetivos a alcançar.

Para além da identificação dos objetivos pretendidos, as coberturas verdes têm requisitos construtivos específicos, problemas e contributos para o bom desempenho dos edifícios e na procura da sustentabilidade e integração arquitetónica dos mesmos com a sua envolvente, que importa investigar de forma aplicada ao caso Português: Estabilidade (capítulo 3.3.2.); Segurança (capítulo 3.3.3.); Isolamento térmico (capítulo 3.3.4.); Estanquidade (capítulo 3.3.5.); Gestão das águas pluviais (capítulo 3.3.6.); Desempenho da vegetação (capítulo 3.3.7.);

3.3.1. Definição dos objetivos

Os objetivos deverão ser estabelecidos desenvolvendo um plano de implementação, identificando os constrangimentos financeiros, o prazo e a intenção do projeto. As principais questões a ser abordadas são:

1. **<u>Principais objetivos do projeto</u>**

   • A função principal da cobertura e a relação que terá com o edifício são essenciais para estabelecer os objetivos de conceção subsequentes. A capacidade de carga estrutural, as considerações de ordem ambiental e estética e a posterior utilização vão determinar o tipo de cobertura verde a ser considerado em projeto (Tolderlund, 2010);

2. **<u>Orçamento</u>**

   • O desenvolvimento do orçamento é necessário em virtude de uma série de fatores, como a acessibilidade, a adaptação de uma cobertura existente, a manutenção a longo prazo, e a maturidade do mercado (Tolderlund, 2010);

   • O orçamento deverá ser realizado com base em análises económicas que se estendam para além das fases inicias e da própria construção. Por forma a esclarecer os benefícios de longo prazo que advêm da instalação de uma cobertura deste tipo, poderão ser utilizados métodos de análise económica como a Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Acssessment – LCA*), Avaliação do Custo no Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost – LCC)*, ou através da aferição do Valor Actual Líquido (*Net Present Value*);

3. **<u>Acessibilidade</u>**

   • A acessibilidade à cobertura é uma componente crítica de qualquer instalação de cobertura verde. O seu sucesso depende da facilidade e segurança do acesso durante e após a instalação, quer para visitantes frequentes ou para manutenção ocasional (Tolderlund, 2010).

Por vezes, a definição dos objetivos, bem como a identificação do âmbito e do alcance real do projeto de cobertura verde, só é possível se da equipa de trabalho fizerem parte os consultores e os profissionais adequados.

- **Equipa de projeto**

A seleção de consultores profissionais depende da função da cobertura verde, da dimensão do projeto, da sua localização e da experiência do consultor principal e/ou daquele que promove o projeto. Um engenheiro de estruturas pode ser necessário para determinar a existente, ou a necessária, capacidade de carga da laje de cobertura. Um arquiteto pode ser necessário para coordenar o projeto, bem como a conceção e pormenorização do mesmo, incluindo especificações de materiais. Um arquiteto paisagístico pode ser necessário para desenhar o *layout* das áreas de plantação e para a seleção das respetivas plantas. Um engenheiro mecânico pode ser necessário para calcular as implicações da cobertura verde no aquecimento e arrefecimento, bem como para discutir a integração dos equipamentos mecânicos existentes/propostos e as necessidades de drenagem. Dependendo da função principal da cobertura verde, poderão ser incluídos outros consultores especializados, tais como: horticultor/engenheiro agrónomo; terapeuta de horticultura; ecologista ou biólogo; especialista em coberturas; urbanista; artista; especialistas em marketing e publicidade (Peck e Kuhn 2000).

3.3.2. Estabilidade

As propriedades estruturais do edifício e da laje de cobertura devem ser definidas e avaliadas tendo em conta as características da engenharia de vegetação. Esta análise pode conduzir a requisitos específicos adicionais necessários para a construção do edifício e/ou da cobertura verde. Pode também levar à exclusão de certos tipos de revestimento vegetal (FLL, 2008). Enquanto que as coberturas extensivas são relativamente leves e geralmente dentro dos limites da capacidade de carga das estruturas contemporâneas, as coberturas intensivas são mais pesadas tendo por isso maiores implicações estruturais (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Os valores adicionais de carga associados a este tipo de revestimento de cobertura é um dos principais fatores para determinar quer a viabilidade quer o custo da instalação de uma cobertura verde. Se o projeto inicial do edifício incluir uma cobertura verde, as cargas adicionais podem ser acomodadas facilmente e por um custo relativamente baixo. No entanto, se for instalada num edifício existente, o sistema construtivo será limitado à capacidade de carga da estrutura existente, a menos que o proprietário esteja preparado para a melhorar, o que pode representar um investimento significativo (Peck e Kuhn, 2000).

Na determinação da capacidade estrutural deverão ser considerados os critérios e as normas vigentes para os projetos de estruturas. A GRO (2011) refere que o projeto de cobertura verde deve estar de acordo com a Norma EN 1990 – Eurocódigo: Bases para o projeto de estruturas, e como tal, deve ter em consideração todos os Eurocódigos apropriados, com ênfase na Norma EN 1991 – Eurocódigo 1: Ações em estruturas, das quais se salientam as ações verticais, distinguindo entre cargas permanentes e sobrecargas (EN 1991-1-1), a ação da neve (EN 1991-1-3) e a ação do vento (EN 1991-1-4). Em Portugal, estas Normas Europeias (EN) têm as correspondentes Normas Portuguesas (NP EN).

Para além das cargas verticais, a estabilidade dos sistemas construtivos de cobertura verde é influenciada pela inclinação da própria cobertura e pela ação do vento.

3.3.2.1. Cargas verticais

As ações verticais impostas numa cobertura verde são significativas quando comparadas com outro tipo de sistema de cobertura, sendo as mais importantes o peso e a capacidade de retenção de água. O cálculo estrutural deve estar de acordo a Norma EN 1991-1-1 contabilizando em primeiro lugar o peso próprio do sistema construtivo, utilizando para tal os pesos da máxima saturação de cada um dos seus componentes. Em separado são contabilizadas a ação da neve e quaisquer outras sobrecargas de serviço impostas, tal como o acesso de pessoas, equipamentos e maquinas (limitado ou permanente) e as cargas pontuais de recursos hídricos e árvores de grande porte.

A FLL (2008), no seu Anexo 1, fornece informação sobre as cargas de referência e a capacidade de retenção de água dos materiais mais utilizados em sistemas de cobertura verde como os da camada de drenagem, do substrato de crescimento e da própria vegetação. Os valores são apresentados assumindo que o material está saturado.

No local de posicionamento das cargas pontuais deve-se assegurar que o isolamento térmico e a membrana de impermeabilização tenham uma adequada resistência à compressão. Por outro lado, aquando da instalação devem ser tomadas as devidas precauções para que o armazenamento temporário de materiais não exceda os limites de carga estabelecidos em projeto (FLL, 2008).

Quando se trabalha em coberturas existentes, e no caso de ser necessário, devem ser tomadas as seguintes medidas, para dar apoio adicional: fortalecer a cobertura com elementos estruturais estrategicamente colocados; colocar os componentes mais pesados do revestimento vegetal sobre e/ou perto dos pilares e das vigas; finalmente, considerar sistemas de cobertura verde que se conetam a uma parede ou uma platibanda, ou em estruturas de pequenas dimensões, como numa garagem doméstica ou num anexo, considerar a construção de uma estrutura em torno do edifício, que permita que o revestimento vegetal não sobrecarregue a cobertura existente (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Segundo Dunnett e Kingsbury (2008), a carga típica imposta pelos sistemas extensivos pode variar entre 70 e 170 kg/m2 e os sistemas intensivos podem atingir valores entre 290 e 1000 kg/m2, ou mais. Existem ainda sistemas extensivos, muito finos e leves, que podem variar entre 40 e 60 kg/m2. Estes últimos podem servir para adaptar uma cobertura existente, revestida por gravilha (200 kg/m2), sem que sejam impostas cargas adicionais.

3.3.2.2. Inclinação da cobertura

A inclinação da cobertura influencia diretamente a estabilidade do sistema construtivo e da própria vegetação. A adoção de um limite inferior para a pendente é uma disposição que está não só relacionada com a durabilidade do sistema de impermeabilização sobre o qual a água permanece e circula até às embocaduras dos tubos de queda, mas também com o desempenho da generalidade das espécies vegetais. Algumas espécies poderão mesmo morrer por asfixia, se o teor de água na camada de substrato for demasiado elevado durante períodos de tempo prolongado (Lopes, 2004).

Segundo a FLL (2008), a pendente mínima recomendada para os sistemas extensivos e intensivos simples é de 2%. No caso dos sistemas intensivos serem irrigados, por capilaridade, através de reservatórios de água sob o sistema construtivo, a cobertura deve ser construída com pendente 0%. Por outro lado, com o aumento da pendente aumenta o risco de exposição do sistema construtivo a forças de corte excessivas e o consequente deslizamento do revestimento vegetal. Este movimento ocorre normalmente nas interfaces entre materiais mais lisos, como geotêxtil-membrana ou membrana-membrana.

A FLL (2008) apresenta uma tabela de conversão de pendentes e inclinações (ver Anexo 2) de apoio ao projeto e recomenda as seguintes medidas especiais quer ao nível da construção do sistema construtivo quer ao nível da vegetação:

- De acordo com a norma DIN 18531-3, a impermeabilização de coberturas com uma inclinação de maior de 3° deve ser fixada mecanicamente ou colada ao suporte;
- Entre 11° e 15°, as forças de corte podem ser ultrapassadas reforçando os beirais e utilizando barreiras impermeabilizadas anti-deslizamento. Devem ser instaladas medidas de proteção contra a erosão, tais como tecidos geotêxtil;
- Acima de 15°, a proteção contra o deslizamento deve ser combinada com medidas de proteção contra a erosão (ver capítulo 3.4.2.3.), por exemplo através da utilização de tapetes de vegetação pré-cultivados, redes de proteção contra a erosão ou através de uma hidro-semeação combinada com agentes de ligação para melhorar a fixação;
- Entre 20° e 30°, são necessárias medidas adicionais contra o deslizamento (Fig. 3.3.1), como mantas e tecidos geotêxteis especiais, ou placas e perfis anti-deslizamento. Quando são utilizados geotêxteis, deve ser dado especial cuidado à sua resistência à tração e aos detalhes de fixação para garantir que suportam as cargas necessárias. Para evitar que a vegetação deslize, o substrato de crescimento deve ser selecionado por forma a que sua solidez estrutural não seja afetada pela água, ou seja, limitando a quantidade de materiais finos que podem ser lixiviados pela água. A fim de evitar a erosão deve-se ainda promover o crescimento rápido das raízes para garantir a ligação do sistema;
- Acima de 30° (56%), por se ultrapassar o ângulo de repouso da maior parte dos materiais agregados (Dunnett e Kingsbury,2008), a vegetação pode apresentar problemas de desempenho devido à falta de resistência do substrato a forças de corte. Por este motivo recomenda-se limitar o tipo de vegetação aos tapetes de vegetação ligeiros pré-cultivados.

Fig. 3.3.1 – Colocação do substrato de crescimento em pendente com o apoio de um sistema de estabilização de proteção contra o deslizamento. (Fonte: Werthmann, 2007)

3.3.2.3. Ação do vento

O vento pode agir sobre as coberturas através de pressões positivas e negativas, e por fricção provocando a erosão do revestimento vegetal. A intensidade destas forças é função direta da intensidade e direção do vento e da forma e altura do edifício em questão. As pressões exercidas podem danificar qualquer elemento da cobertura, durante ou depois da construção estar concluída (FLL, 2008).

As pressões variam ao longo da superfície da cobertura sendo relativamente baixas no centro e maiores nos cantos, perímetros e cumeeiras (em coberturas inclinadas). Estas pressões afetam sobretudo os sistemas construtivos onde a membrana de impermeabilização/barreira de raízes assim como a camada de isolamento térmico (em coberturas invertidas) não estão fixas à laje de cobertura. Por consequência, o sistema construtivo deve incorporar o peso suficiente de modo a que o revestimento vegetal não levante por ação do vento. O uso de faixas de agregados de pedra (gravilha, seixos ou cascalho) ou de lajetas de pavimentação (para o caso de ser necessário mais peso) nos pontos mais sensíveis, pode ajudar a prevenir futuros estragos causados pelo efeito de sucção (FLL, 2008). Estas faixas são também usadas como forma de prevenir a proliferação da vegetação nos pontos onde as membranas de impermeabilização estão mais expostas (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Segundo a FLL (2008), o cálculo das cargas necessárias para a proteção contra o efeito de sucção causado pela ação do vento deve ser considerado em projeto contabilizando os peso próprios, em estado seco, de cada um dos componentes da cobertura verde (de modo a determinar a carga mínima imposta pelo sistema construtivo), e estar de acordo com a Norma DIN 1055-4 (revista na norma EN 1991-1-4) em conjunto com o coeficiente de ação do vento inscrito na Norma DIN 1055-100 (revista na norma EN 1990). Nas diretivas da FLL (2008) acrescenta-se ainda que a informação sobre a fixação da impermeabilização em coberturas contra a ação do vento podem ser encontrada em ZVDH/HDB – Regulamentos para coberturas com impermeabilização (FLL, 2008). Nas normas apresentadas para o cálculo das cargas necessárias, os requisitos relativos à utilização de faixas de agregados de pedra e lajetas de pavimentação apenas se referem à carga vertical, não levando em conta as especificidades dos sistemas de coberturas verdes, tais como (FLL, 2008):

a) Textura da vegetação;
b) Carga gerada pela humidade residual no solo;
c) Carga gerada pela vegetação;

d) Ligação a uma das camadas por meio da ação das raízes em comparação com o material solto;
e) Permeabilidade ao vento da camada de substrato faz atenuar o diferencial de pressão entre a parte superior e a inferior da camada de vegetação, reduzindo assim a ação do vento.

As especificidades enumeradas provocam uma redução da ação do vento sobre este tipo de sistemas construtivos. Assim, para o cálculo, a DIN 1055-4 prescreve o uso de um coeficiente de aerodinâmica para a pressão exterior de 10 cpe (FLL, 2008).

Como exemplo, a Optigreen (2013) refere que o peso, em estado seco, dos seus sistemas oferece a carga mínima necessária para a zona central da superfície vegetal (aprox. 45-85 kg/m2). Contudo a sua solução construtiva mais leve não deve ser aplicada sobre coberturas invertidas e membranas de impermeabilização e barreiras de raízes que não estejam fixas à laje. Nos cantos e perímetros, necessita-se de cargas maiores (entre 130 e 360 kg/m2) para assegurar a devida segurança contra o efeito de sucção, referindo as seguintes formas de as alcançar, de acordo com as regras da FLL (2008):

- aplicação de uma camada de agregado de pedra de 16/32 mm com 5 a 10 cm de espessura e peso aprox. 100-200kg/m2;
- aplicação de elementos de betão como lajetas de pavimentação e grelhas de enrelvamento com 5 a 10 cm de espessura e peso aprox. 100-200kg/m2 (Fig. 3.3.2);
- aplicação de uma camada betão *in situ* sobre a camada de proteção e camada dupla de separação e com peso aprox. 300kg/m2. As dimensões e reforço devem estar de acordo com as exigências de estabilidade;
- adicionar montículos de substrato com um peso seco de aprox. 8kg/m2 para 1 cm de espessura.

3.3.3. Segurança

O acesso às coberturas verdes é crucial, não apenas para instalação e manutenção, mas também para trazer materiais, substratos e plantas durante a operação do edifício. O seu planeamento em fase de projeto é essencial para optimizar e tornar eficientes os custos nas fases posteriores, principalmente nos casos de adaptações de edifícios existentes.

Para além das questões relacionadas com a segurança no uso, as coberturas verdes estão sujeitas aos requisitos de segurança contra incêndio e regulamentos legais aplicáveis aos sistemas de cobertura tradicionais. Não devem ser inflamáveis, servir como escudo protetor contra faíscas, fagulhas e calor radiante, e não devem permitir a propagação do fogo (Optigreen, 2013), principalmente no caso das coberturas extensivas.

3.3.3.1. Acessibilidade e utilização

O acesso às áreas plantadas dos sistemas de cobertura verde é normalmente restrito à manutenção e reparação, não sendo adequadas para a utilização corrente de pessoas (FLL, 2008). O seu acesso é geralmente

limitado a zonas de passeio e descanso devidamente pavimentadas para o efeito e sem danificar o sistema construtivo subjacente salvaguardando as devidas compatibilidades dos materiais aplicados.

O pleno acesso às áreas plantadas só é possível quando a vegetação for colocada para essa finalidade. Para esse efeito, a FLL (2008) recomenda que se observem as orientações das Normas DIN 18024, DIN 18025 e DIN E 18030 para construção de espaços públicos livres de barreiras.

Fig. 3.3.2 – Colocação de grelha de enrelvamento em betão de proteção contra a ação do vento.
(Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.3 – Linha de vida como sistema de proteção contra quedas.
(Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.4 – Sistema pontual de proteção contra quedas.
(Fonte: Optigreen®, 2013)

3.3.3.2. Proteção contra quedas

A necessidade de dispor de sistemas de proteção contra quedas, do tipo apresentado nas Fig. 3.3.3 e 3.3.4, é geral para qualquer tipo de cobertura verde, quando colocadas a uma altura acima do solo ≥ 3,00 m (FLL, 2008). No entanto, o tipo de sistema requerido varia de acordo com o tipo cobertura verde e o consequente requisito de manutenção. Segundo o GRO (2011), a especificação contra quedas deve considerar a orientação fornecida pela Norma BS 7887 – Código de prática para a conceção, seleção, instalação, uso e manutenção de dispositivos de fixação conforme a Norma BS EN 795 – Proteção pessoal anti-quedas. Em Portugal deverá considerar-se a correspondente desta norma europeia, a NP EN 795 – Proteção contra quedas de altura. Dispositivos de amarração. Requisitos e ensaios.

As medidas de prevenção de acidentes de trabalho devem ser consideradas durante as fases de projeto e construção. Isto aplica-se à prevenção de quedas durante a execução, manutenção e reparação de edifícios e à prevenção de quedas através dos elementos de construção (clarabóias).

Durante a construção é essencial um sistema de proteção contra quedas na forma de guardas ou andaimes. Estas estruturas temporárias só deverão ser removidas após a conclusão da obra (FLL, 2008).

No caso dos sistemas extensivos e de biodiversidade a exigência de manutenção específica e o desenho da cobertura vai determinar o tipo de sistema mais adequado. Um dispositivo de ancoragem de um único ponto pode ser suficiente em muitos casos, no entanto, para uma maior mobilidade, pode ser mais adequado o uso de linhas de vida. Os sistemas devem ser planeados para assegurar o movimento em todas as direções e o uso por vários operadores (GRO, 2011).

Quanto aos sistemas intensivos e intensivos simples, é exigido um maior grau de segurança devido ao aumento da frequência e da densidade dos utilizadores, seja para realizar a manutenção ou para obter os benefícios e a sensação de bem-estar de um espaço exterior na cobertura. Além dos sistemas de proteção contra quedas atrás mencionados, nestes tipos de cobertura verde poderão ser necessárias medidas adicionais de proteção, tais como guardas de segurança ou barreiras de proteção (GRO, 2011).

3.3.3.3. Segurança contra a propagação de incêndios

As coberturas verdes precisam ser concebidas por forma a proporcionar a necessária resistência à propagação do fogo pelo exterior. A GRO (2011) refere que esta resistência aumenta com:

a) O aumento do teor de componentes não combustíveis (por exemplo, agregados minerais);
b) A redução do componente combustível (por exemplo, matéria orgânica);
c) A manutenção dos níveis de humidade no sistema construtivo.

Devido à falta de instruções especificas em matéria de segurança contra incêndios em coberturas verdes, a FLL (2008), seguindo as diretrizes da Associação de Construção Urbana e Habitação na Alemanha (ARGEBAU), considera que o revestimento de vegetação intensiva por ser irrigado, ter uma manutenção regular e uma camada de substrato espessa, não assume um potencial risco de incêndio, podendo ser considerado como resistente ao fogo. Já o revestimento de vegetação extensiva só assume uma suficiente resistência se forem cumpridos os seguintes critérios (FLL, 2008; Schunck et al, 2003; Optigreen, 2013):

1. Utilização de plantas de porte baixo como gramíneas, sedum ou variedades de erica;
2. Camada de substrato ≥ 3 cm de espessura;
3. Substrato constituído por matéria mineral (≥ 80%) e por matéria orgânica (≤ 20%);
4. As paredes de perímetro do edifício, as paredes corta-fogo ou barreiras de material não infamável no lugar das paredes corta-fogo, devem ter uma altura ≥ 30 cm acima da camada do substrato. Quanto às paredes ou barreiras corta-fogo devem ter uma distância máxima entre si de 40 m (Fig. 3.3.5);
5. Caso o projeto ou os regulamentos vigentes não exijam a instalação das paredes ou barreiras corta-fogo acima mencionadas deverão ser projetados ou um rebordo em material não inflamável de altura ≥ 30 cm acima da camada de substrato ou faixas de segurança não plantadas, de largura ≥ 100 cm, em agregados de pedra ou lajetas de pavimentação (Fig. 3.3.5 e 3.3.7);
6. Margens de segurança não plantadas, de largura ≥ 50 cm, entre a camada de substrato e os pontos singulares como as clarabóias e as janelas de cobertura, os elementos salientes (chaminés e ventilações) e os paramentos com janelas a uma altura ≤ 80 cm da camada de substrato, garantida através da utilização de agregados de pedra ou lajetas de pavimentação (Fig. 3.3.5 e 3.3.6);
7. Margem de segurança não plantada, de largura ≥ 100 cm, em torno dos beirais dos edifícios com cobertura inclinada, utilizando materiais não inflamáveis.

Todavia, Schunck et al (2003), advertem que se estas condições não forem cumpridas, deve ser fornecida uma análise do comportamento ao fogo em conformidade com a norma alemã DIN 4102 parte 7 (1987).

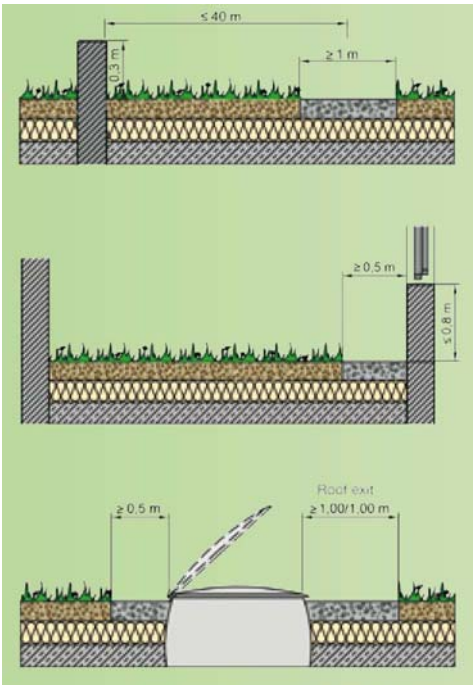


Fig. 3.3.5 – Margens de segurança contra incêndios. (Fonte: Optigreen®, 2013)

Em Portugal, o RJ-SCIE – Regime jurídico de segurança contra incêndios em edifícios (DL 220/2008, de 12 de Novembro) e as suas disposições técnicas gerais e específicas descritas no RT-SCIE – Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (Portaria 1532/2008, de 29 de Dezembro) também não fazem referências específicas sobre coberturas verdes. O RT-SCIE, por exemplo, entre outros requisitos exige que os revestimentos da cobertura devem ter, no mínimo, uma classe de reação ao fogo de:

- Coberturas inclinadas = C-s2
- Coberturas em terraço (altura ≤ 28 m) = EFL
- Coberturas em terraço (altura ≥ 28 m) = A2FL-s1

Fig. 3.3.6 – Margens de segurança de proteção contra incêndios nos pontos singulares. (Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.7 – Aceiros de compartimentação da cobertura extensiva. (Fonte: ZinCo®, 2013a)

Apesar de não ser possível neste momento classificar as coberturas verdes em termos de resistência ao fogo, por não existir ainda uma metodologia de testes de incêndio aprovado para coberturas verdes, o TGRTAG

(2011) na sua norma *"Toronto Green Roof Construction Standard (TGRCS)"*, refere que deverão ser considerados os seguintes fatores aquando do seu planeamento:

a) Evitar uma vegetação que apresente um elevado risco de incêndio;
b) Manter a vegetação longe das paredes, parapeitos e equipamentos mecânicos;
c) Fornecimento de revestimentos incombustíveis em áreas expostas ao revestimento vegetal;
d) Incorporação de aceiros para limitar as áreas de vegetação;
e) Localização apropriada das infra-estruturas como redes de abastecimento de gás;
f) Considerar o impacto potencial da queima de vegetação em caminhos de saída;
g) Dotar a cobertura de apropriados requisitos de combate a incêndio (extintores portáteis e abastecimento de água adequado e/ou mangueiras de incêndio).

A mesma fonte considera ainda que para manter a adequada resistência ao fogo durante a vida útil da cobertura verde é fundamental implementar um programa de manutenção que deve ser fornecido ao proprietário/gestor do edifício (capítulo 3.4.2). Este plano de manutenção deve incluir a remoção anual de vegetação morta e o excesso de biomassa que pode representar um risco elevado de incêndio e ainda as medidas necessárias para que se mantenham os níveis de humidade no substrato de crescimento.

3.3.4. Isolamento térmico

Não obstante as propriedades térmicas inerentes às coberturas verdes, revistas no capítulo 3.2.5., outro dos aspetos importantes a ter em consideração na conceção de sistemas coberturas verdes reside na exigência de incorporação de materiais que ofereçam resistência à transferência de calor. O isolamento térmico visa melhorar o comportamento térmico dos edifícios promovendo a conservação da energia no interior dos mesmos, mantendo o conforto térmico e impedindo as condensações (no Inverno).

Em Portugal, a incorporação de materiais isolantes térmicos na construção deverá estar de acordo com o RCCTE (DL 80/2006), em função dos requisitos térmicos e do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais. Muito embora o RCCTE não contabilize atualmente as propriedades térmicas das soluções de coberturas verdes, Lopes (1994), e de acordo com o descrito no capítulo 3.2.5. sobre o desempenho térmico das coberturas verdes, refere que a sua aplicação em sistemas de coberturas verdes poderá ser vista caso a caso, tendo em conta as propriedades térmicas de cada solução construtiva, principalmente nas do tipo intensivo.

Weiler e Scholz-Barth (2009) acrescentam que a camada de isolamento térmico quando incorporada numa solução de cobertura verde, não só está a contribuir para conforto térmico no interior dos edifícios como também protege a própria vegetação contra as flutuações térmicas. Particularmente no Inverno, quando as raízes das plantas podem congelar, descongelar e voltar a congelar. Este fenómeno acontece quando as coberturas verdes são instaladas sobre espaços aquecidos. Nestas situações os fluxos térmicos são bastante maiores do que quando instaladas sobre espaços não aquecidos, onde as temperaturas serão semelhantes às

do exterior. As mesmas autoras referem que, em casos de coberturas do tipo extensivo, uma camada de isolamento entre 5 a 8 cm é suficiente para proteção das raízes das plantas contra o frio intenso.

3.3.4.1. Fatores a considerar na seleção dos materiais isolantes

Sempre que o material de isolamento térmico tenha de suportar o peso da solução construtiva, é necessário verificar as suas características mecânicas a fim de evitar a redução da espessura a longo prazo e consequente perda de resistência térmica. Desta forma, deverão ser utilizados materiais pouco compressíveis e com reduzida deformação por fluência (Lopes, 1994).

Como o teor de água afeta a condutibilidade térmica, a solução construtiva deve manter seco o material isolante e evitar a condensação de vapor de água no interior do mesmo, ou utilizar materiais pouco sensíveis à água. Deste modo podemos dividir os materiais em 2 grupos (Tirone, 2011):

1. **Isolantes pouco sensíveis à água**
   - Placas de poliestireno expandido (EPS) e extrudido (XPS);
2. **Isolantes sensíveis à água**
   - Placas de lãs minerais (MW), de aglomerado de cortiça expandida (ICB) e de espuma rígida de poliuretano (PUR) poliisocianurato (PIR);

3.3.4.2. Formas de aplicação da camada de isolamento térmico

Segundo a IGRA (2013), os sistemas de coberturas verdes podem ser colocados sobre coberturas sem isolamento térmico (quando colocadas sobre espaços não aquecidos, por exemplo coberturas de garagem e varandas) e coberturas com isolamento térmico. Lopes (1994) enumera as três possibilidades de colocação do material isolante (Fig. 3.3.8):

1. **Cobertura tradicional**
   - Funciona como suporte do sistema de impermeabilização;
   - É necessária a colocação de uma barreira de vapor sob o isolamento térmico, evitando-se as condensações de vapor de água na face inferior do material isolante ao mesmo tempo que se garante que não perde as suas características isolantes;
   - Corbet et al (1979) refere que uma desvantagem desta solução de impermeabilização é a dificuldade de posterior reparação do material isolante, caso não sejam detetadas de imediato eventuais anomalias nas membranas impermeabilizantes resultantes da colocação da camada drenante – com o consequente humedecimento do material isolante térmico e posterior perda das suas características térmicas (Lopes, 1994);
2. **Cobertura invertida**
   - Aplicação do isolamento térmico sobre o sistema de impermeabilização;
   - Wells e Grant (2004) referem que uma cobertura de vegetação extensiva pode ser facilmente instalada sobre uma cobertura invertida, substituindo os materiais de revestimento mais pesados normalmente utilizados em edifícios comerciais e sem carga adicional para a estrutura resistente;

3. **<u>Isolamento térmico sob a estrutura resistente</u>**

• Aplicação do isolamento térmico pela face inferior da estrutura resistente, quer em tetos falsos, quer como camada ou revestimento aderente a essa estrutura;

• Deve ser evitada a utilização desta solução dado que conduz a uma redução significativa da inércia térmica, especialmente quando a estrutura resistente é de laje de betão armado.

A IGRA (2013) faz ainda referência aos sistemas comerciais que reforçam a capacidade de resistência térmica da cobertura através da colocação de uma camada adicional de material isolante sobre uma cobertura tradicional, podendo funcionar em simultâneo como camada drenante.

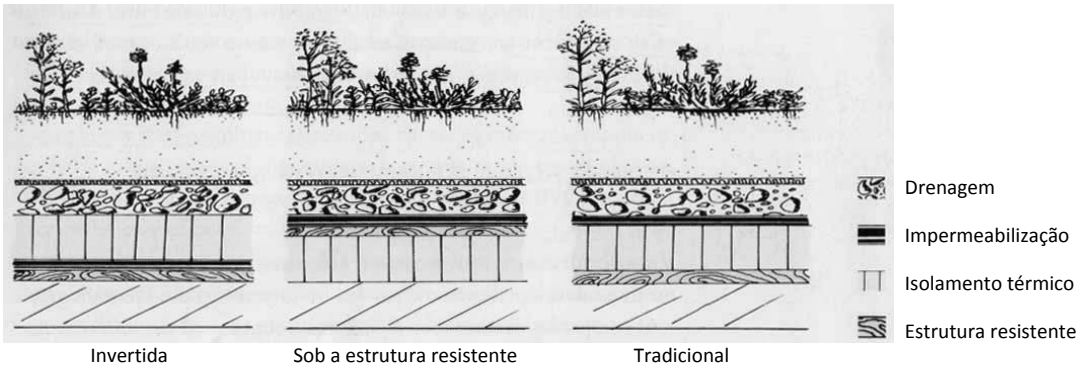


Fig. 3.3.8 – Formas de aplicação da camada de isolamento térmico. Desenho de Hay Joung Hwang. (adaptado de Dunnet e Kingsbury, 2008)

3.3.4.3. Aplicação de materiais de isolamento térmico como camada de enchimento leve

Principalmente em sistemas intensivos de cobertura verde, qualquer carga adicional pode fazer aumentar a dimensão da estrutura de suporte, contribuindo para o aumento da quantidade de materiais a utilizar e do tempo e custos de construção. Com o objetivo de reduzir essas cargas são incorporados enchimentos leves na camada de substrato de crescimento. A introdução de materiais mais ligeiros permite manter a espessura desta camada sem perder o efeito estético pretendido.

O poliestireno é frequentemente utilizado com esta função devido às suas características: é leve, fácil de manusear, pouco sensível à água, e normalmente disponível no mercado. Desta forma os produtos de poliestireno constituem-se como uma alternativa aos substratos de crescimento mais pesados ou para nivelamento de estruturas de geometria mais complexa (Weiler e Scholz-Barth, 2009).

Por exemplo, Michael Van Valkenburgh, na adaptação da cobertura do edifício da Associação Americana de Arquitetos Paisagistas, em Washington, D.C., utilizou o poliestireno extrudido para criar uma topografia artificial na qual assenta toda a solução construtiva (Fig. 3.3.9). Deste modo foi possível aumentar as potencialidades e qualidade estética da solução sem sobrecarregar em demasia a estrutura existente (Werthmann, 2007).

Fig. 3.3.9 – Aplicação de poliestireno extrudido (XPS) como camada de enchimento leve. (Fonte: Werthmann, 2007)

3.3.5. Estanquidade

A característica mais importante dos sistemas construtivos de cobertura, verde ou outra, é a sua capacidade de prevenir a entrada de água no edifício subjacente. No caso das coberturas verdes, passado algum tempo da sua instalação, as raízes podem danificar o sistema de impermeabilização caso não exista uma proteção adequada. Segundo a IGRA (2013), a resistência das membranas de impermeabilização à penetração das raízes é determinada de acordo com o Anexo 3 – Métodos para testar a resistência à penetração de raízes das membranas e emulsões para coberturas verdes – da FLL (2008). Este procedimento está na origem da Norma EN 13948 – Membranas de impermeabilização flexíveis. Membranas betuminosas, de plástico e de borracha para impermeabilização de coberturas. Determinação da resistência à penetração de raízes – que em Portugal está transcrita na Norma NP EN 13948.

Segundo a FLL (2008), embora os dois procedimentos tenham um conteúdo quase idêntico, existem algumas diferenças importantes:

- A FLL (2008) testa 8 em vez de 6 amostras para cada produto testado;
- A FLL (2008) testa um segundo tipo de rizoma de relva para além do teste com rizoma de pyracantha, enquanto a Norma EN 13948 apenas testa o rizoma de pyracantha;

O procedimento da FLL (2008) tem um melhor reconhecimento da indústria por se revelar mais abrangente do que o da norma EN 13948. Desta forma poderemos considerar que uma membrana resistente a raízes segundo os padrões FLL (2008) também o é segundo os padrões da Norma EN 13948.

3.3.5.1. Seleção do sistema de impermeabilização

Weiler e Scholz-Barth (2009) advertem que a seleção do sistema de impermeabilização deve ser realizada sob consulta e conhecimento de todos os elementos da equipa de projeto, fornecedor e instalador da solução construtiva e do proprietário, tendo por base um conjunto de considerações: tamanho e complexidade da estrutura de suporte; tipo de uso nos espaços sob a cobertura; técnicas de construção; programa e manutenção; acessibilidade à membrana; proteção da membrana; disponibilidade de materiais e técnicos adequados; clima; e custo.

Os sistemas de impermeabilização dividem-se em três tipos: múltiplas camadas, camada única e membranas líquidas. Cada um deles tem vantagens e desvantagens quando incorporados em soluções construtivas de coberturas verdes:

1. **Múltiplas camadas**

   • Os sistemas de múltiplas camadas (Fig. 3.3.10) têm um tempo de vida normal de 15 a 20 anos (por vezes mais) quando aplicados com as medidas de proteção adequadas. São pouco utilizados em sistemas de cobertura verde, por serem mais laboriosos de instalar e manter. Por outro lado são mais suscetíveis à penetração de raízes, visto que as múltiplas camadas proporcionam diferentes pontos de entrada para o crescimento das raízes e, assim, o ar e a humidade. Além disso, o asfalto é um produto orgânico e pode servir de alimento aos organismos no substrato de crescimento (Weiler e Scholz-Barth, 2009). No entanto as membranas de betumes-polímeros (SBS e APP), constituídas por uma mistura betuminosa modificada por resinas plastoméricas ou elastoméricas, são mais adequadas para coberturas verdes devido à sua maior robustez e por poderem incorporar na sua composição aditivos repelentes de raízes (Dunnett e Kingsbury, 2008);

2. **Camada única**

   • Os sistemas de camada única (Fig. 3.3.11) têm um tempo de vida normal de 10 a 15 anos. São mais rápidos de instalar e necessitam de menos trabalho que os sistemas múltiplas camadas. Devido à sua composição e flexibilidade, são menos suscetíveis a ruturas e à penetração de raízes. Além disso o menor número de ligações diminui o risco de fugas. Tanto as membranas termoplásticas (PVC e TPO) como as elastoméricas (EPDM e CPE) são consideradas fáceis de instalar e com um baixo custo (Weiler e Scholz-Barth, 2009);

3. **Membranas líquidas**

   • As membranas líquidas polímeras (entre as quais as de poliuretano e de poliureia, na Fig. 3.3.12), segundo Osmundson (1999), estão disponíveis sob a forma de líquido quente ou frio, pulverizado ou pintado sobre a superfície de suporte, formando uma vedação completa eliminando o problema das juntas (Dunnett e Kingsbury, 2008). A sua aplicação em sistemas de cobertura verde pode ser mais apropriada para formas complexas, superfícies verticais, canteiros ou escadas (Weiler e Scholz-Barth, 2009).

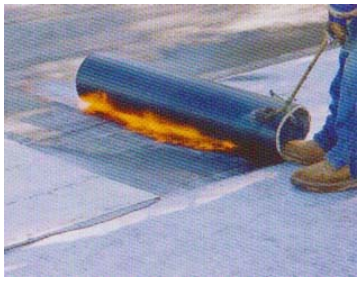


Fig. 3.3.10 – Sistema de impermeabilização em múltiplas camadas. (Fonte: Earth Pledge, 2005)

Fig. 3.3.11 – Sistema de impermeabilização em camada única.

Fig. 3.3.12 – Sistema de impermeabilização em membrana líquida. (Fonte: Vicodi®, 2012)

3.3.5.2. Barreira de raízes

A barreira de raízes (Fig. 3.3.13) é necessária para proteger as membranas de impermeabilização contra raízes agressivas em busca de ar, alimento e água. Todos os materiais dos sistemas construtivos de coberturas à base de asfalto exigem uma barreira de raízes adicional porque as plantas podem facilmente penetrá-los, rompê-los e usar os produtos asfálticos orgânicos como alimento. Já os materiais sintéticos como as membranas de EPDM, PVC e TPO, para além de impermeabilizantes funcionam também como barreiras de raízes (Weiler e Scholz-Barth, 2009).

A FLL (2008) refere que a camada funcional de proteção contra a penetração de raízes deve estar sempre presente em qualquer tipo de cobertura verde como parte integrante do seu sistema de impermeabilização. No caso de serem utilizadas membranas asfálticas, os materiais normalmente utilizados são fabricados em rolos e colocados soltos ou por intermédio de colagem. Os mais comuns são os filmes de PVC (Dunnett e Kingsbury, 2008), polietileno de alta densidade (PEAD) e os geotêxteis de polipropileno (PP) impregnados com inibidores de raízes (Weiler e Scholz-Barth, 2009). Já as membranas sintéticas são fabricadas incorporando na sua composição a proteção contra a penetração das raízes.

Em sistemas de cobertura invertida, caso seja necessária uma tela de proteção anti-raízes deverá ser colocada sob as placas de isolamento térmico, diretamente sobre a membrana impermeabilização por forma evitar problemas de condensação (ZinCo®, 2013a).

Fig. 3.3.13 – Colocação de barreira de raízes. (Fonte: Optigreen®, 2013)

3.3.5.3. Camada de proteção do sistema de impermeabilização

Uma vez instalado, o sistema de impermeabilização (membrana de impermeabilização/barreira de raízes) está suscetível a danos causados pelas atividades de construção, pelos equipamentos e pelo tráfego de operários. Para tal devem ser removidas as impurezas da sua superfície e proceder a uma proteção imediata e permanente em toda a sua extensão, tanto nas superfícies horizontais/inclinadas como nos pontos singulares.

As diretrizes da FLL (2008) têm em consideração um conjunto de requisitos de modo a realizar essa proteção, os materiais a aplicar como camada de proteção, o planeamento em projeto e a execução em obra,

diferenciando-se de acordo com o tipo de cobertura, quer seja extensiva ou intensiva Por exemplo, são considerados válidos como requisitos mínimos a utilização de:

- Feltros geotêxteis com uma densidade mínima de 300g/m^2 e 2mm de espessura (Fig. 3.3.14);
- Esteiras ou placas de borracha com 6mm de espessura;
- Esteiras ou placas de plástico com 4mm de espessura.

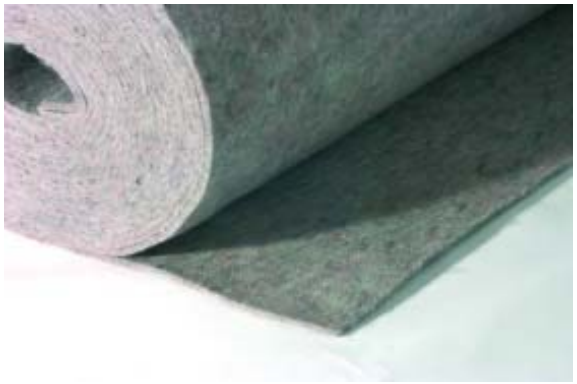


Fig. 3.3.14 – Feltro geotêxtil de proteção mecânica. (Fonte: Optigreen®, 2013)

De referir ainda que os materiais a utilizar devem ser compatíveis com a membrana de impermeabilização/barreira de raízes da solução construtiva, resistir às tensões e deformações mecânicas, térmicas e químicas e suportar o processo microbiológico do revestimento vegetal. No caso do material de proteção ser colocado solto sobre o sistema de impermeabilização, a FLL (2008) recomenda que devem ser garantidas sobreposições mínimas de 10 cm ou que sejam protegidas as juntas entre as diferentes partes. Segundo a mesma fonte, podem ainda ser tomadas medidas preventivas de fixação e aumento dessas sobreposições.

Os materiais de proteção podem assumir outras funções. Por exemplo, os feltros geotêxteis (dependendo das densidades e espessuras) podem servir como camada filtrante, camada de separação, prevenindo incompatibilidades entre as diferentes camadas da solução construtiva e entre esta e a estrutura de suporte, e também como camada de retenção e acumulação de águas. Outros materiais podem assumir o papel de proteção do sistema de impermeabilização, desde que sejam colocados imediatamente a seguir à colocação do mesmo, como por exemplo as esteiras e placas de drenagem e as placas de isolamento térmico (em coberturas invertidas).

Em casos mais extremos pode ser ponderado um revestimento de proteção, de carácter permanente, em betonilha de betão leve ou mástique asfáltico. Nestes casos deve ter-se especial atenção à carga extra produzida e às incompatibilidades entre estes materiais e os da solução construtiva de cobertura verde (FLL, 2008).

3.3.5.4. Pontos singulares

O sistema de impermeabilização deve estar devidamente protegido ao longo do perímetro e beirados das coberturas, nos encontros com fachadas, elementos salientes e sistema de drenagem pluvial. A sua execução pode variar de projeto para projeto e de fabricante para fabricante dependendo dos materiais utilizados nas diferentes soluções construtivas. Contudo a FLL (2008) faz as seguintes recomendações para:

1. **Margens de segurança**

   • Todos os bordos, perímetros, drenos e elementos salientes devem estar protegidos por margens de segurança não plantadas, de agregados de pedra (gravilha, seixos ou cascalho) ou de lajetas de pavimentação, com a mesma profundidade da camada de substrato de crescimento, salvaguardando as distâncias mínimas determinadas pela proteção contra os efeitos da ação do vento e de segurança contra incêndios e de modo a permitir uma drenagem eficiente;

2. **Encontros com paramentos verticais e elementos emergentes**

   • O sistema de impermeabilização (membrana de impermeabilização/barreira de raízes) deve ser rematado acima da superfície do substrato ou da margem de segurança. Até 5° de inclinação, a uma altura ≥ 15 cm. Em inclinações superiores a 5°, a uma altura ≥ 10 cm. Este remate deve incluir uma proteção total contra a exposição aos efeitos de stress climático e aos raios UV, através da colocação de um forro de material de proteção mecânica e de um rufo metálico (Fig. 3.3.15);

3. **Beirados**

   • O sistema de impermeabilização deve ser igualmente rematado acima da superfície do substrato ou da margem de segurança. Até 5° de inclinação, a uma altura ≥ 10 cm. Em inclinações superiores a 5°, a uma altura ≥ 5 cm. Este remate deve incluir a mesma proteção total contra a exposição aos efeitos de stress climático e aos raios UV (Fig. 3.3.15);

4. **Soleiras**

   • O remate pode ser reduzido para uma altura ≥ 5 cm, sempre quando se garanta o rápido e completo escoamento junto das mesmas, através de caleiras ou sumidouros, ou se tenha previsto alguma forma de minimizar os volumes de água. Estes requisitos tornam-se imperativos quando as soleiras estão de nível com o pavimento exterior;

5. **Encontros com paredes enterradas**

   • No caso do limite da cobertura estar ao nível do solo, o encontro dos sistemas de impermeabilização da cobertura e das paredes enterradas devem estar ligados numa sobreposição ≥ 20 cm.

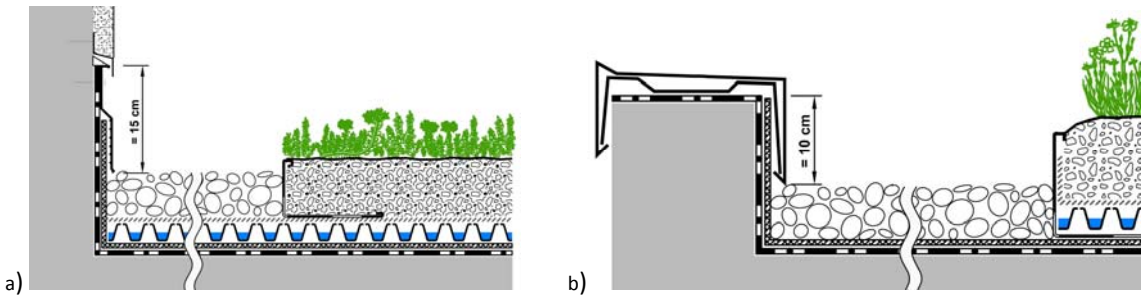


Fig. 3.3.15 – Detalhes construtivos dos pontos singulares: a) encontro com paredes; b) beirados. (Fonte: ZinCo®, 2013b)

As margens de segurança, para além das funções já referidas em capítulos anteriores, de proteção contra os efeitos da ação do vento e de segurança contra incêndios, servem também para promover a drenagem pluvial (ver capítulo 3.3.6.), a proteção contra salpicos e oferecer acesso para inspeção, manutenção e reparação. Recomendam-se as seguintes opções para a sua execução (FLL, 2008):

a) A camada de drenagem e a camada filtrante são contínuas sob a camada de suporte da vegetação e as margens de segurança;
b) Separação da camada de suporte de vegetação e das margens de segurança através de elementos prefabricados de remate das áreas plantadas, em metal, plástico, madeira ou betão leve;
c) Separação da camada de suporte da vegetação e das margens de segurança com dispositivos diferenciados de drenagem de água;
d) Colocação de caleiras de drenagem, funcionando como margens de segurança.

3.3.5.5. Inspeções e ensaios de deteção de fugas

Antes da colocação da camada de proteção e das restantes camadas sobrejacentes, é imperativo realizar inspeções e ensaios de deteção de fugas a fim de assegurar a impermeabilidade do sistema de impermeabilização (GRO, 2011). Este requisito tem especial relevância em sistemas construtivos de coberturas verdes pelo facto de ser demasiado dispendioso quaisquer que sejam os trabalhos de reparação a realizar à posteriori, tanto pelo tempo que poderá ser necessário para proceder à localização das fugas, como pelos custos associados a uma eventual substituição de todo o sistema de impermeabilização. O TGRTAG (2011), recomenda os seguintes tipos de inspeções e ensaios:

1. **<u>Ensaio de carga</u>**

   • Processo em que uma quantidade de água, geralmente 10 cm, é retida temporariamente (ou seja, os drenos são fechados ou as áreas inclinadas são represadas) durante um período de 24 a 48 horas para determinar a eficácia do sistema de impermeabilização;

2. **<u>Ensaio de fluxo de água</u>**

   • Aplicação de água que flui continuamente ao longo da superfície da membrana de impermeabilização durante um período mínimo de 24 horas, sem fechar o sistema de drenagem;

3. **<u>Ensaio de campo elétrico</u>**

   • É o único método de deteção de fugas de água que não perturba a vegetação após a instalação do sistema construtivo. Um arame condutor é enrolado à volta da área a ser testada, na parte superior da membrana, e ligada a um gerador de impulsos, antes da instalação de outros componentes. Durante o teste, uma corrente elétrica é descarregada em intervalos curtos e regulares. A corrente flui através da membrana, localizando com precisão as ruturas. Não é compatível com membranas de EPDM;

4. **<u>Ensaio de impedância</u>**

   • Utiliza um campo elétrico para determinar o teor de humidade relativa na membrana e por baixo dela, não identificando a localização exata da fuga. Para maior precisão durante o teste, a membrana deve estar seca e o conjunto uniforme, em espessura e material. Note-se que alguns materiais, como as membranas EPDM, podem distorcer as leituras e proporcionam resultados menos precisos;

5. **<u>Termografia</u>**

   • Método de interpretação baseado no princípio de que os componentes da construção secos e molhados têm diferentes taxas de ganho de calor e de retenção de água. Pode cobrir grandes áreas rapidamente e com custos baixos, acima e abaixo da superfície da membrana mas não pode identificar a localização exata das fugas. Os melhores resultados são obtidos quando a temperatura do edifício é superior à temperatura ambiente. Note-se que este método de ensaio não é útil logo após a instalação da cobertura verde, uma vez que a mesma reduz a reflexão de calor.

De referir que a instalação de uma cobertura verde num edifício existente deve ser precedida de uma inspeção geral ao sistema de impermeabilização para determinar as possíveis reparações ou uma eventual substituição.

3.3.6. Gestão das águas pluviais

Os sistemas de cobertura verde armazenam uma grande parte da precipitação anual, libertando-a posteriormente para a atmosfera por evapotranspiração. Dependendo da espessura da solução construtiva e da intensidade da chuva, a precipitação tem vários destinos: pode evaporar-se diretamente pelas superfícies do substrato e das plantas; pode ser absorvida pelas plantas através das folhas e das raízes; pode ser armazenada no interior do substrato, tanto por adsorção às suas partículas como pelo preenchimento dos poros e espaços vazios; e por fim, qualquer excesso de água será drenado por percolação (Dunnett e Kingsbury, 2008). As coberturas verdes contribuem desta forma para uma melhor gestão das águas pluviais. A FLL (2008) enumera as três características fundamentais que contribuem para esta função e que têm efeitos significativos na solução construtiva quer ao nível económico, ecológico ou técnico:

1. Redução do caudal de águas de drenagem proveniente da precipitação;
2. Retenção das águas da chuva para satisfazer as necessidades de irrigação;
3. Retardamento do escoamento das águas pluviais para o sistema de drenagem.

3.3.6.1. Sistema de drenagem pluvial

As águas pluviais são um dos elementos mais importantes das coberturas verdes, porém podem tornar-se um problema em grandes quantidades. Por forma a garantir o seu rápido e completo escoamento, tanto nas áreas plantadas como nas áreas não plantadas, é fundamental manter uma drenagem adequada, sobretudo por razões de durabilidade do sistema construtivo: melhor proteção da membrana de impermeabilização, evitando ser danificada pelo contacto permanente com a água, e impedir a saturação prolongada dos substratos de crescimento evitando, por um lado, criar condições anaeróbicas e o consequente insucesso da vegetação, e por outro, provocando a perda das características isolantes térmicas da solução construtiva. Segundo a FLL (2008) a conceção e o dimensionamento dos sistemas de drenagem pluvial deverão estar de acordo com os requisitos inscritos na Norma EN 12056-3 – Sistemas prediais de drenagem de águas pluviais. Conceção, dimensionamento e traçado – e na Norma DIN 1986-100. O número e a dimensão das saídas de escoamento deverão ser planeados tendo em conta a precipitação média local e a capacidade de retenção de água da solução construtiva. Em Portugal exige-se ainda que sejam cumpridos os requisitos inscritos no DL 23/95 – Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.

Os sistemas de drenagem pluvial devem recolher o excesso de água da camada drenante assim como o excesso de água à superfície do substrato de crescimento. A recolha poderá ser efetuada por sistemas únicos no interior ou no exterior das áreas plantadas ou por sistemas diferenciados para as áreas plantadas e para as áreas não plantadas (FLL, 2008). Por questões de segurança, quando localizados no interior das áreas plantadas, a IGRA (2013) recomenda que sejam utilizados pelo menos duas saídas de escoamento ou uma saída de escoamento e um ponto de drenagem de segurança (tubo ladrão). As saídas de escoamento e os pontos de drenagem de segurança deverão ser mantidos livres de substrato e de vegetação e deverão ser de fácil inspeção em todos os momentos, tal como se exemplifica na Fig. 3.3.16. Para tal a sua execução deve seguir as seguintes recomendações:

a) Caso as saídas se encontrem no interior das áreas plantadas, recomenda-se a colocação de câmaras de inspeção sobre as mesmas, que impeçam a proliferação da vegetação e simultaneamente, permitam a passagem da água (FLL, 2008); Quando colocadas em áreas não plantadas devem ser protegidas com agregados de pedra, por forma a manter o afastamento mínimo de 25 cm como margem de segurança à proliferação da vegetação (Schunck et al, 2003). Deverão estar ainda protegidas com filtros concebidos para o tamanho do material circundante. Em áreas pavimentadas, devem estar protegidas com câmaras de inspeção com uma tampa de acordo com o pavimento (FLL, 2008);
b) Os pontos de drenagem de segurança (tubos ladrão) devem estar completamente desobstruídos a fim de permitir a livre circulação da água e uma fácil verificação visual (FLL, 2008);
c) Em coberturas inclinadas, a drenagem é efetuada junto dos beirados através de algerozes preenchidos com agregados de pedra, com ou sem tubos incorporados no seu interior, ou através de caleiras pré-fabricadas. De salientar que o dimensionamento destes canais de drenagem deve dar resposta aos maiores volumes de água que aqui se acumulam normalmente (FLL, 2008);
d) Junto às fachadas, as águas das chuvas devem ser drenadas de forma rápida e completa através de faixas de agregados de pedra, de caleiras ou sumidouros que por sua vez se interligam com o sistema de recolha e drenagem de água pluvial do sistema construtivo (IGRA, 2013);
e) Schunck et al (2003), recomenda que nos pontos singulares da cobertura – beirado, laró, perímetros e encontros com elementos emergentes – as margens segurança para uma drenagem eficaz devem ter no mínimo 25 cm de largura, à exceção dos encontros com as paredes de fachada, onde se deve ter um afastamento mínimo de 50 cm (Fig. 3.3.17).

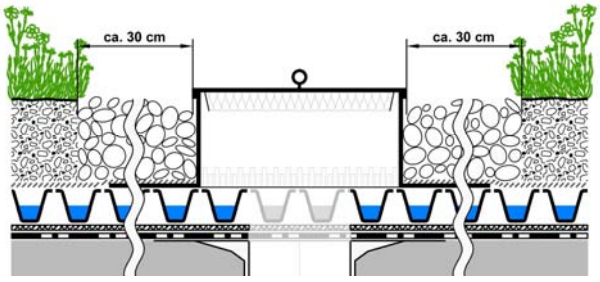


Fig. 3.3.16 – Detalhe construtivo da saída de escoamento protegida com câmara de inspeção e margens de segurança. (Fonte: ZinCo®, 2013b)

Fig. 3.3.17 – Margens de segurança e saídas de escoamento protegidas com agregados de pedra. (Fonte: Dunnett e Kingsbury, 2008)

Em relação à drenagem dos substratos de crescimento, é essencial que a solução construtiva dê resposta às necessidades de humidade e arejamento das raízes das plantas selecionadas. Desta forma os materiais da camada drenante, quer sejam placas de drenagem, mantas porosas ou agregados, serão selecionados em função do tipo de cobertura verde e dos objetivos a atingir. Mas sobretudo devem permitir o escoamento livre e eficaz dos substratos de crescimento, evitando o empoçamento e as sobrecargas.

Em coberturas com pendentes superiores a 5°, a drenagem pode ser efetiva sem qualquer tipo de material drenante adicional. A sua incorporação na solução construtiva pode levar mesmo à ocorrência de uma drenagem demasiado eficaz, produzindo condições excessivamente severas para o crescimento da vegetação e eliminando os efeitos benéficos para a gestão das águas pluviais (Dunnett e Kingsbury, 2008).

3.3.6.2. Retenção de águas pluviais

O principal fator a contribuir para os benefícios das coberturas verdes em termos de gestão das águas pluviais é a sua capacidade de retenção das águas de precipitação e posterior redução do caudal de escorrência. A FLL (2008), enumera os parâmetros de desempenho utilizados para o cálculo dos coeficientes de retenção que podem ser atribuídos às diferentes ensamblagens dos diversos sistemas construtivos:

1. Capacidade máxima de retenção de água;
2. Permeabilidade de água, que define a taxa de infiltração;
3. Coeficiente de descarga / índice de escoamento, que define o retardamento da escorrência;
4. Coeficiente de descarga anual / índice de impermeabilização.

Estes parâmetros determinam a conceção dos sistemas de cobertura verde, tanto ao nível dos tipos de substrato e de vegetação a selecionar, como também ao nível do cálculo das cargas estruturais e dimensionamento dos sistemas de drenagem, para além das posteriores necessidades de irrigação e manutenção.

No Anexo 2 da FLL (2008), descrevem-se ainda os métodos de ensaio para o cálculo destes parâmetros, que deverão ser ajustados aos valores de pluviosidade locais. No Quadro 3.4 são apresentados alguns valores de referência para a percentagem de retenção de água em função da profundidade do substrato de crescimento, descritos nestas diretrizes.

Quadro 3.4 – Valores de referência para a percentagem de retenção de água em função da profundidade do substrato de crescimento. (adaptado de FLL, 2008)

Solução construtiva	profundidade de substrato (cm)	média anual de retenção de água (%)	coeficiente anual de descarga / índice de impermeabilização
Extensiva	2 – 4	40	0,60
	4 – 6	45	0,55
	6 – 10	50	0,50
	10 – 15	55	0,45
	15 – 20	60	0,40
Intensiva	15 – 25	60	0,40
	25 – 50	70	0,30
	> 50	> 90	0,10

Nota: Todos os valores se referem a locais com valores de precipitação anual de 650-800 mm monitorizado durante um período de vários anos. Em regiões com valores de precipitação anuais mais baixos, maior é a retenção de água e em regiões com precipitação anual superior é menor.

Os substratos de crescimento com uma elevada taxa de infiltração, em especial em coberturas inclinadas, são de elevada importância, para evitar escoamentos superficiais que podem provocar a erosão do substrato e arrastamento das plantas, especialmente durante as fases iniciais enquanto as suas raízes ainda não estão completamente estabelecidas (Sequeira, 2011).

3.3.6.3. Capacidade de acumulação de água

Principalmente em soluções construtivas de até 10 cm de profundidade de substrato ou quando o projeto exige que as diferentes camadas devam ser mantidas num mínimo absoluto, deve-se prever a incorporação de materiais que confiram à solução construtiva uma capacidade extra de acumulação de água. A FLL (2008) recomenda que sejam consideradas as seguintes estratégias de armazenamento de água:

a) Ao longo do substrato de crescimento, através da utilização de substâncias ou materiais que retenham a água, tais como placas de substrato pré-fabricadas;
b) Ao longo da camada de proteção, utilizando mantas de retenção de água;
c) Ao longo do substrato de crescimento e da camada drenante, através da utilização de agregados de poros abertos (tal como argila expandida) em tamanhos granulados graduados;
d) Ao longo da camada de drenagem, utilizando placas de drenagem pré-fabricadas com capacidade de retenção.

Em coberturas invertidas, por forma a garantir a permeabilidade ao vapor de água, não se devem utilizar mantas de retenção de água, como camada de proteção, diretamente sobre as placas de isolamento térmico (ZinCo®, 2013a).

Kolb et al. (1989), citados por Dunnett e Kingsbury (2008), referem também que a combinação das funções de drenagem e acumulação de água confere às soluções construtivas reduções significativas no caudal de escoamento e também atua como reservatório ao qual as plantas podem recorrer em períodos secos. No caso das coberturas extensivas deverá ter-se em consideração que a vegetação suportada cresce naturalmente em solos de drenagem livre e que qualquer excesso de água no substrato resultará em falhas de crescimento das plantas, porque as suas raízes serão incapazes de respirar (Dunnett e Kingsbury, 2008). De modo a garantir uma boa relação entre a capacidade de retenção de água e aeração das raízes, Beattie e Berghage (2004) recomendam que cerca de 20% dos poros do substrato devam estar cheios de ar (Dunnett e Kingsbury, 2008).
De referir ainda que apesar destas estratégias permitirem a diminuição da espessura dos substratos, uma maior profundidade dos mesmos tem efeitos positivos no desenvolvimento da biodiversidade local e na diversidade de plantas (TGRTAG, 2011).

3.3.6.4. Camada drenante

A função principal dos materiais da camada drenante é permitir o escoamento da água, que circula por percolação no substrato de crescimento, até às saídas de escoamento. De acordo com o referido

anteriormente, pode ainda atribuir-se a esta camada uma função de retenção/acumulação duma certa quantidade de água, a qual pode vir a ser utilizada pelas plantas em período de maior stress hídrico.

A FLL (2008) e Schunck et al (2003) fazem a distinção entre os seguintes grupos e tipos de materiais: Agregados inertes produzidos industrialmente ou reciclados, de diferentes granulometrias e capacidades de acumulação de água; esteiras e/ou feltros não tecidos; placas perfiladas com vazios inter-conetados entre si; e placas de drenagem/substrato de espumas modificadas.

1. **<u>Agregados inertes</u>**
   - Gravilha, seixos ou cascalho;
   - Argila, ardósia ou xisto expandidos;
2. **<u>Agregados inertes reciclados</u>**
   - Tijolo;
   - Espuma de vidro;
3. **<u>Esteiras e/ou feltros não tecidos</u>**
   - Feltros não tecidos, com armadura na superfície inferior;
   - Feltros não tecidos de poliamida (PA), laminados numa ou em ambas as faces com uma lâmina geotêxtil;
   - Esteiras nodulares de polietileno (PE) de alta densidade, com uma lâmina geotêxtil de polipropileno (PP) na superfície superior (Fig. 3.3.18);
   - Esteiras drenantes de espuma de polietileno (PE), com uma lâmina geotêxtil na superfície superior e ranhuradas na superfície inferior;
4. **<u>Placas de drenagem perfiladas</u>**
   - Plástico rígido de polietileno(PE), de PVC rígido (uPVC) e de poliestireno rígido (PS; Fig. 3.3.19);
   - Espuma de plástico de poliestireno expandido (EPS) e extrudido (XPS);
   - Borracha;
5. **<u>Placas de drenagem/substrato</u>**
   - Espumas modificadas (Fig. 3.3.20).

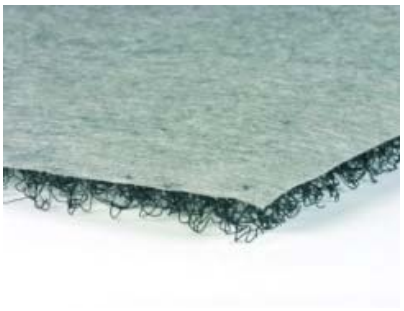


Fig. 3.3.18 – Esteira de drenagem com feltro geotêxtil. (Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.19 – Placa de drenagem em plástico. (Fonte: Optigreen®, 2013)

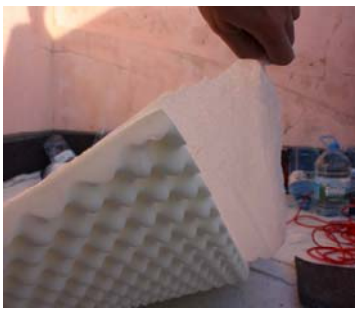


Fig. 3.3.20 – Placa de drenagem em espuma modificada Vydro®.

Um dos aspetos mais importantes da camada drenante é o seu peso, que deve ser mínimo. Por outro lado, estando sob o peso dos substratos de crescimento e da vegetação, deve ser durável e estável a fim de manter a sua espessura e, por sua vez, o volume total de vazios de drenagem (Schunck et al, 2003). A FLL (2008) define as características essenciais a ter em consideração para a sua incorporação em soluções construtivas de coberturas verdes. Os materiais a utilizar e a sua dimensão dependem dos requisitos da própria solução construtiva (função de drenagem, cargas impostas e função de proteção) e dos objetivos da vegetação (prevenção contra a estagnação hídrica, necessidade de retenção de água, maior profundidade para a penetração das raízes e tipo e forma de vegetação pretendidos).

Por exemplo, em relação aos agregados inertes, interessa que tenham a granulometria o mais uniforme possível, de modo a ser máximo o volume de vazios e, consequentemente, a facilitar o escoamento da água (Lopes, 1994). Por outro lado, Schunck et al (2003) acrescentam outra característica fundamental destes materiais, para além da boa permeabilidade, a capacidade de retenção de água. São características que se devem ter em consideração no momento da escolha do material e na apropriada gama granulométrica.

Quanto às esteiras e feltros não tecidos, interessa que sejam capazes de efetuar um bom desempenho de drenagem da água, com uma menor espessura possível (10-35mm) e um peso muito baixo. Contudo podem deformar-se por fluência, reduzindo o seu volume e, portanto, o seu desempenho na drenagem (Schunck et al, 2003).

Por último, interessa que as placas de drenagem sejam suficientemente estáveis. A FLL (2008) refere que a máxima fluência à compressão permitida é de 20% da espessura da lâmina, para espessuras ≤ 50mm, ou de 10mm, para espessuras > 50mm. Esta publicação refere ainda que alguns destes materiais, como as placas de drenagem de poliestireno, podem conferir à solução construtiva um valor de resistência térmica significativo, que deverá ser considerado nos cálculos de resistência térmica da cobertura.

3.3.6.5. Camada filtrante

A camada filtrante é essencial para uma drenagem eficaz ao longo da vida útil da cobertura verde. A função de filtro deverá ser sempre contemplada na solução construtiva, quer se trate de uma solução em multi-camada ou de uma solução em camada única. A camada filtrante evita que as partículas finas do substrato de crescimento sejam lixiviadas para a camada de drenagem, bloqueando os espaços porosos e as saídas de escoamento. Os materiais mais utilizados como camada filtrante são os feltros geotêxtil de polipropileno (Fig. 3.3.21 e 3.3.22). Os mesmos feltros servem também para separar o substrato de crescimento dos agregados de pedra das margens de segurança. Estes materiais são fornecidos em rolos e cada peça deve sobrepor-se à anterior cerca de 20 cm (Dunnett e Kingsbury, 2008).

A FLL (2008) define as características essenciais para a sua colocação em sistemas de coberturas verdes. O mínimo recomendado são os feltros geotêxteis com uma densidade de 100g/m^2 ou entre 100 e 200 g/m^2 para

substratos até 25 cm de profundidade. Para substratos mais profundos e em coberturas de pendente acentuada pode ser necessário aumentar a densidade a fim de satisfazer os requisitos de elasticidade e de resistência à penetração e à tração.

Fig. 3.3.21 – Feltro geotêxtil para camada filtrante. (Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.22 – Colocação camada filtrante sobre elemento da camada drenante. (Fonte: Dunnett e Kingsbury, 2008)

3.3.7. Desempenho da vegetação

Para que os sistemas de revestimento vegetal das coberturas sejam bem sucedidos, o planeamento e a seleção dos substratos de crescimento, das plantas e dos sistemas de irrigação devem ser elaborados em conjunto (TGRTAG, 2011).

3.3.7.1. Substrato de crescimento

Como base de uma cobertura verde e camada de suporte da vegetação, o substrato de crescimento deve ter uma composição que forneça as seguintes propriedades (GRO, 2011):

a) Leveza;
b) Resistência à erosão eólica e hídrica;
c) Isenção de espécies infestantes, parasitas e pragas;
d) Boa ancoragem das raízes para reduzir o risco de se elevar com o vento;
e) Resistência ao fogo, evitando altas proporções de matéria orgânica na sua composição;
f) Em conjunto com a camada drenante, deve permitir o escoamento rápido e completo das águas em excesso enquanto absorve e retém a água suficiente para atender às necessidades das plantas;
g) Equilibrada relação água-ar, quando saturado, para evitar que as raízes deixem de respirar;
h) Resistência à compactação para evitar a saturação e problemas de drenagem;
i) Oferta adequada de nutrientes (por exemplo, fertilizantes de liberação lenta) para permitir o desenvolvimento conforme as necessidades das plantas – as coberturas extensivas têm uma baixa exigência de nutrientes, enquanto que as intensivas e intensivas simples têm exigências nutricionais mais elevadas.

Dependendo do tipo de cobertura verde, dos requisitos da construção (cargas, função de proteção e de drenagem) e dos objetivos da vegetação a aplicar (visuais, durabilidade, manutenção e desenvolvimento) estão disponíveis um conjunto de diferentes tipos de substratos, divididos em 3 grupos (FLL, 2008):

1. **<u>Compostos ou misturas de substratos</u>**
   - De solos e subsolos melhorados;
   - De agregados minerais (Fig. 3.3.23)
     - com ou sem material orgânico;
     - com poros abertos ou estrutura granular densa;
2. **<u>Placas de substrato de crescimento</u>**
   - A partir de materiais de espumas modificadas;
   - A partir de materiais de fibras minerais;
3. **<u>Tapetes de vegetação</u>**
   - Com misturas de agregados minerais e orgânicos
     - com redes biodegradáveis ou permanentes (Fig. 3.3.24)
     - com funcionalidade estrutural.

Fig. 3.3.23 – Substrato de crescimento de agregados minerais com materail orgânico. (Fonte: Optigreen®, 2013)

Fig. 3.3.24 – Tapetes de vegetação. (Fonte: Earth Pledge, 2005)

A FLL (2008) fornece ainda os requisitos necessários para a composição e o desempenho dos diferentes substratos de crescimento. Nesta norma definem-se os critérios principais para a sua elaboração, tais como, a granulometria, a proporção de material orgânico, a porosidade, as espessuras, a capacidade de retenção de água, a permeabilidade, o teor de nutrientes, a capacidade de aeração, a resistência à geada, a estabilidade estrutural e o valor de pH.

Por ser a camada funcional que mais contribui para as cargas sobre a estrutura de suporte, é de extrema importância que a sua composição seja o mais leve possível. Dunnett e Kingsbury (2008) referem que esta característica pode ser conseguida através da introdução de materiais minerais, naturais, artificiais ou reciclados, como os agregados de pedra basáltica, de pedra-pomes, de argila expandida ou de materiais cerâmicos. Para além disso, são materiais com boa permeabilidade e capacidade de retenção de água e nutrientes tal como se exemplifica no Quadro 3.5. Segundo os mesmos autores, os baixos teores de matéria

orgânica é outro dos fatores relevantes na elaboração de substratos de crescimento, principalmente quando se trata de coberturas extensivas (os teores de matéria orgânica das misturas comerciais estão entre 10 e 20% do seu volume). Os substratos orgânicos apresentam algumas desvantagens, como o elevado peso, a elevada fertilidade (os substratos devem ser pouco férteis para manter o tipo de vegetação) e a diminuição de volume a longo prazo, perdendo capacidade de drenagem. Desta forma devem ser usados apenas como adição aos substratos minerais para melhorar a sua capacidade de retenção de água e nutrientes (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Quadro 3.5 – Características dos materiais inorgânicos usados como base dos substratos de crescimento de coberturas verdes. (adaptado de Dunnett e Kingsbury, 2008)

Minerais	**Materiais**	**Características**
Minerais naturais	Areia	A sua textura fina pode resultar em falta de espaços vazios e em problemas de saturação elevada caso a drenagem seja ineficaz. Por outro lado, as areias grossas podem ser demasiado drenantes exijindo irrigação constante.
	Pedra basáltica e perda-pomes	Leves e muitos úteis se disponíveis no local.
	Cascalho	Relativamente pesado
Minerais artificiais	Perlite	As partículas tendem em colapsar ao longo do tempo (Hitchmough, 1994).
	Vermiculite	Muito leve mas não tem capacidade de retenção de água e nutrientes. Desintegra-se ao longo do tempo (Hitchmough, 1994).
	Agregado de argila expandida (LECA) e Xisto expandido	Leve e com grande capacidade de retenção de água devido à sua grande porosidade
	Lã mineral	Muito leve mas de elevada intensidade energética na produção. Não tem capacidade de retenção de nutrientes
Minerais reciclados	Cerâmicos	Estáveis, uniformes e com alguma capacidade de retenção de água e nutrientes. Podem conter argamassas de cimento que irá aumentar o pH do substrato.
	betão	Limitada retenção de água e disponibilidade de nutrientes. Alcalino. No entanto, é barato e está disponível em quantidade como material de demolições.
	Subsolo	Pesado e de baixa fertilidade, mas disponível como subproduto da construção

Quanto à profundidade dos substratos, está relacionada com o tipo de vegetação que será suportada. Para além das necessidades inerentes ao tipo de vegetação, a FLL (2008) recomenda que a sua determinação, assim como a da profundidade da camada drenante, deva ter em atenção fatores como: as propriedades dos materiais utilizados; a inclinação da cobertura; a exposição; as condições climáticas regionais e locais; as cargas especificas dos materiais utilizados; e a retenção de água pretendida. Por exemplo, recomenda-se que as soluções construtivas em camada única, constituídas por agregados minerais, devam ter no mínimo 6 cm de profundidade. No Quadro 3.6 apresentam-se as profundidades padrão dos substratos de crescimentos consoante os diferentes tipos de vegetação.

Quadro 3.6 – Profundidades padrão do substrato de crescimento para os diferentes tipos de vegetação (adaptada da FLL, 2008)

Tipo de cobertura verde	Variedade de vegetação	Profundidade do substrato de crescimento (cm)
Extensiva	Musgos – sedum	< 4 a 8
	Sedum – musgos – pequenas herbáceas	6 a 10
	Sedum – musgos – pequenas gramíneas	10 a 15
	Gramíneas e herbáceas	15 a 20
Intensiva simples	Gramíneas e herbáceas	12 a > 35
	Arbustos e subarbustos silvestres – plantas comestíveis	15 a > 50
	Arbustos e subarbustos médios – plantas comestíveis	20 a > 100
Intensiva	Relvados	15 a > 35
	Arbustos e subarbustos baixos – plantas hortícolas	15 a > 50
	Arbustos e subarbustos médios	20 a > 50
	Arbustos e subarbustos altos	35 a > 70
	Arbustos grandes e árvores pequenas	60 a > 125
	Árvores médias	100 a > 200
	Árvores grandes	150 a > 200

Nota: As condições climáticas e específicas locais, que podem variar consideravelmente entre si, exigem uma camada mais ou menos espessa dentro do intervalo dado.

3.3.7.2. Seleção das plantas

Os critérios de seleção das plantas devem responder sobretudo ao aspeto funcional do revestimento vegetal. A vegetação, em sistemas de cobertura verde, protege a camada de substrato da lixiviação e da erosão; retém, absorve e evapora a água da chuva; através da evaporação, da transpiração e do sombreamento contribui para o arrefecimento da superfície da cobertura; fornece alimentos e habitat para invertebrados e aves; ajuda a dissipar e a capturar carbono e poluentes atmosféricos (GRG, 2011). De uma forma geral, a seleção das plantas está condicionada por condições climáticas extremas: seca, altas temperaturas e vento (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Enquanto que as restantes componentes funcionais são similares de local para local, as plantas selecionadas são determinadas pelas características físicas do substrato (profundidade e composição) e pelas condições climáticas e microclimáticas locais – a localização, o vento, a chuva, a poluição do ar, a altura do edifício e a sombra. Peck e Kuhn (2000) referem que a capacidade para sobreviverem numa cobertura verde é diretamente proporcional à periodicidade da manutenção e do orçamento alocado ao projeto, especialmente nos dois primeiros anos, período no qual elas se estabelecem. Segundo Dunnett e Kingsbury (2008), a vegetação deve:

- Ser naturalizada, adaptada ou endémica;
- Cobrir e ancorar a superfície do substrato dentro de um prazo razoável após a plantação;
- Ter capacidade de renovação, autossemeando-se ou autoregenerando-se, utilizando espécies vegetais com ciclos de vida longos, sobretudo variedades perenes, anuais e bienais;
- Evaporar os volumes de água previstos para manter o balanço hídrico da solução construtiva;
- Sobreviver às condições climáticas adversas, em particular ao frio e à seca.

De acordo com a IGRA (2013), enquanto que em coberturas extensivas a escolha está limitada a espécies de baixa manutenção, duráveis e resistentes à seca, em coberturas intensivas e intensivas simples a variedade é mais ampla.

• **Coberturas Extensivas:** as plantas para coberturas extensivas têm de sobreviver à radiação solar intensa, à exposição ao vento, à seca, à pouca oferta de nutrientes, às baixas temperaturas e à profundidade limitada para o desenvolvimento da suas raízes. As variedades de plantas adequadas são as que crescem em locais severos, fracos em humidade e em fornecimento de nutrientes, tais como, ambientes secos de montanha, costeiros, semi-desertos ou prados secos. As principais variedades são as espécies suculentas – *sedum, sempervivum e* saxifraga. Estas plantas são capazes de armazenar grandes quantidades de água nas folhas, são resistentes ao stress climático, têm facilidade em recuperar após períodos de seca. Outras variedades, como as espécies *Dianthus*, *Asteraceae* e pequenas herbáceas e gramíneas ornamentais também são adequadas para estas condições. A fim de apoiar a biodiversidade, é muito importante considerar plantas nativas do local. Na Fig. 3.3.25 apresentam-se algumas das espécies autóctones de Portugal.

Fig. 3.3.25 – Algumas espécies autóctones de Portugal. (Fonte: Farrall e da Costa, 2011)

• **Coberturas Intensivas e Intensiva simples:** o crescimento de variedades de plantas mais complexas é possível caso a solução construtiva seja apropriada e o substrato de crescimento suficiente (maior volume para o desenvolvimento de raízes, de nutrientes e de abastecimento de água). As plantas selecionadas devem ser resistentes à radiação solar intensa e aos ventos fortes. Uma vegetação com diversas variedades de plantas, como plantas perenes, herbáceas, gramíneas, arbustos, relvados e árvores permite obter um caráter mais natural. Contudo, uma comunidade mais ampla de plantas aumenta a quantidade de manutenção necessária.

Dunnett e Kingsbury (2008) apresentam uma lista de plantas adaptadas ao crescimento em coberturas verdes, sobretudo para coberturas extensivas e intensivas simples e acrescentam ainda os musgos e os líquens como

espécies integrantes de qualquer substrato extensivo. Ao contrário, referem que os fetos não devem ser considerados devido à sua rede de rizomas e por não tolerarem condições climáticas adversas.

3.3.7.3. Espécies suculentas

O desenvolvimento das coberturas verdes na Alemanha culminou precisamente com a possibilidade de enverdecimento de substratos muito finos e de baixa manutenção através da utilização de espécies suculentas do tipo *Sedum*. A utilização de substratos de crescimento com base em tapetes pré-cultivados com variedades de *Sedum* é visto atualmente como o método mais económico. Werthmann (2007) refere que os fatores indicados pelos fabricantes para esta aplicação generalizada são: a durabilidade sob stress climático; a tolerância à seca extrema; a auto-propagação; a facilidade de instalação; a manutenção mínima; e os baixos custos.

As *Sedum* são naturais de locais que têm semelhanças climáticas e geológicas às condições nas coberturas. Crescem numa grande variedade de estruturas de solo como calcário, rochas vulcânicas, formado por sedimentos depositados pelo vento, solos rochosos, ou formados por agregados de pedra solta, principalmente no hemisfério Norte. A estrutura das *Sedum* permite-lhes sobreviver em climas áridos. Tem cutículas grossas, células pequenas, pouco volume de espaço de ar interno, grandes vacúolos para armazenamento de água, estômas protegidos e um sistema radicular pequeno, como as apresentadas na Fig. 3.3.26. Até cerca de 95% do volume total das suculentas pode ser dedicado ao armazenamento de água (Werthmann, 2007). As necessidades nutricionais são satisfeitas pelas partículas de poeiras na atmosfera pela decomposição de matéria vegetal (Dunnett e Kingsbury, 2008).

Sedum album *Sedum acre* *Sedum ewersii*

Fig. 3.3.26 – Algumas espécies de Seduns autóctones de Portugal. (Fonte: Farrall e da Costa, 2011)

A particularidade das suculentas deve-se ao desenvolvimento de uma forma especial de fotossíntese chamado *metabolismo ácido crassuláceo* (*Crassulacean acid metabolism – CAM*). CAM mantém os poros de respiração das plantas fechados durante o dia, abrindo apenas durante a noite para absorver dióxido de carbono (CO_2). O CO_2 é convertido e armazenado como ácido málico. Um aumento na temperatura do dia seguinte provoca a quebra do ácido e a libertação de dióxido de carbono. O CO_2 está desta forma disponível para a fotossíntese. CAM permite realizar a fotossíntese das *Sedum* durante o dia sem abrir poros para o consumo de CO_2 como outras plantas, evitando grandes perdas de água por evaporação (Werthmann, 2007).

Mas, para Dunnett e Kingsbury (2008), a sua fraca transpiração pode ter desvantagens, principalmente quando se pretende reduzir os caudais de escoamento das águas pluviais ou quando é importante o efeito de arrefecimento por evapotranspiração. Ainda assim, os mesmos autores referem estas espécies como as plantas de vanguarda para o desenvolvimento desta tecnologia. Por outro lado, o facto de não necessitarem de substratos profundos torna-as indicadas para a criação de coberturas verdes em edifícios existentes e com pouca capacidade de carga (Dunnett e Kingsbury, 2008).

3.3.7.4. Plantação

Quanto aos métodos de plantação, existem quatro formas diferentes de a realizar: por semeação de sementes ou mudas (seca ou húmida); por plantação de rebentos e bolbos; por tapetes de vegetação pré-cultivados; e por colonização espontânea (Dunnett e Kingsbury, 2008). Para além dos requisitos necessários para cada tipo de vegetação, a FLL (2008) especifica as quantidades de sementes, rebentos e bolbos, bem como as exigências de elaboração e aplicação de tapetes de vegetação pré-cultivados, necessários para a execução de uma cobertura verde. Nesta norma, estão também especificados os requisitos necessários cumprir para assegurar a estabilidade ao vento de árvores e arbustos.

Os períodos recomendados para a plantação são a Primavera e o final do Verão. No caso de a realizar durante o Verão (o que não é aconselhável), é importante proporcionar água suficiente para compensar os períodos de baixa precipitação. Caso se realize no final do Outono, os dias frios podem levar a danos nas plantas devido à geada. De salientar que as plantas instaladas em tapetes de vegetação pré-cultivados devem ser resistentes às condições extremas que advêm das camadas muito finas de substrato de crescimento, e necessitam, numa fase inicial, de uma manutenção mais elevada em termos de irrigação e fertilização (IGRA, 2013).

3.3.7.5. Irrigação

A irrigação é necessária essencialmente durante as fases iniciais de estabelecimento das plantas. Uma vez alcançado o revestimento vegetal pretendido, a irrigação pode ser reduzida (para as coberturas intensivas e intensivas simples) ou mesmo evitado (para as coberturas extensivas, sujeitas a uma adequada seleção de plantas). Quanto mais intensiva for a solução construtiva mais necessidades terá de se incorporar um sistema de irrigação artificial (GRO, 2011). A FLL (2008), relembra ainda que em coberturas com pendente acentuada, o sistema construtivo deve incorporar formas adicionais de irrigação por forma a evitar a morte das plantas e a possibilidade de erosão. Segundo a GRO (2011), os fatores que determinam as necessidades de irrigação são:

a) Necessidades de irrigação pelas plantas;
b) Capacidade de armazenamento de água da solução construtiva;
c) Índices de pluviosidade locais.

As coberturas verdes são projetadas para depender principalmente da precipitação para o seu abastecimento de água. Isto minimiza os custos e a necessidade de rega suplementar ao mesmo tempo que ajuda a devolver a água da chuva ao seu ciclo natural. Para além das fases iniciais de estabelecimento das plantas, o sistema de irrigação deve ser projetado para responder às necessidades de água em períodos de stress hídrico de modo a

contribuir para uma evapotranspiração contínua. A FLL (2008) recomenda que deve existir pelo menos um ponto de água na cobertura. E relativamente às formas complementares de rega refere que podem ser controladas manualmente ou automaticamente através de mangueiras, difusores, aspersores, sistemas "gota-à-gota" superficiais ou enterrados e por sistemas automatizados com recurso ao bombeamento desde reservatórios de armazenamento de água (FLL, 2008).

Durante a fase de planeamento destes sistemas a FLL (2008) recomenda que devem ser seguidas as especificações inscritas na Norma DIN 1988 e a GRO (2011) faz referência aos requisitos inscritos na Norma BS 7562-3 – Conceção, dimensionamento e instalação de sistemas de irrigação. Orientações para as necessidades de água de irrigação. A GRO (2011) faz ainda menção às Normas Europeias: EN 15099-1 – Técnicas de irrigação. Sistema de monitorização e controlo remoto; EN 15097 – Técnicas de irrigação. Avaliação hidráulica de irrigação localizada; e EN 13742-1 – Técnicas de irrigação. Sistema de aspersão. Seleção, conceção, dimensionamento e instalação.

3.4. Gestão e manutenção

Os sistemas de coberturas verdes necessitam de ser executados com um nível de qualidade superior ao dos sistemas de coberturas convencionais, devido ao facto de as suas especificidades – maiores cargas impostas na estrutura subjacente e necessidade de serem 100% estanques – tornarem demasiado dispendiosas quaisquer ações de reparação e/ou substituição de um dos seus componentes, nomeadamente a membrana de impermeabilização e as camadas de substrato e de vegetação. Esta inevitabilidade significa custos iniciais mais elevados, mas resulta numa solução construtiva mais duradoura.

3.4.1. Projeto e Instalação

O controlo de qualidade deve estar presente durante as fases de conceção, construção e operação para que a solução construtiva possa corresponder às exigências de desempenho pretendidas durante a sua vida útil. Como tal, deve ser assegurada a qualidade do projeto e dos materiais a utilizar, a qualidade da mão de obra durante as fases de construção e manutenção e a correta utilização dentro dos limites para os quais foi projetada. Assim, e segundo a IGRA (2013), devem ser seguidos durante as diferentes fases do processo, os critérios de qualidade e os métodos de ensaio aos materiais inscritos nas diretrizes da FLL (2008).

3.4.1.1. Planeamento e gestão da obra

O planeamento e a gestão da obra são elementos fundamentais na implementação dos sistemas de cobertura verde. A sua realização facilita o controlo de qualidade e o seu sucesso depende dos seguintes fatores (GRO, 2011):

a) Estabelecer um plano de trabalhos definindo e calendarizando as diferentes atividades a executar (nomeadamente a colocação da impermeabilização), e em franca colaboração com o fornecedor da solução construtiva, de modo a garantir que os materiais são entregues em obra nos prazos

necessários para minimizar os tempos de armazenagem, em particular dos substratos de crescimento e das plantas;

b) Selecionar o método mais adequado para a instalação do substrato de crescimento e das plantas, de acordo com o projeto e os objetivos pretendidos

c) O armazenamento dos materiais deve ser feito ao nível do solo e transportado para a cobertura apenas quando for necessário, evitando sobrecarregar a estrutura da cobertura. Os produtos vegetais só devem ser entregues em obra aquando da atividade de plantação por forma a garantir a sua integridade e consequente sucesso do revestimento vegetal. No caso de ser necessário armazená-los durante um curto período de tempo, é fundamental proceder-se à sua irrigação antes de serem instalados (GRG, 2011).

Idealmente o sistema de cobertura verde deve ser o último elemento de uma obra a ser executado. Antes de se iniciar a sua instalação é imperativo testar a impermeabilização, de modo a comprovar a sua integridade, assim como finalizar todos os remates e todos os trabalhos referentes ao sistema de drenagem das águas pluviais (GRO, 2011).

3.4.1.2. Garantia e responsabilidade

As empresas instaladoras, para além dos conhecimentos gerais sobre construção, devem ser totalmente treinadas na execução de coberturas verdes e ter o apoio de um especialista, conhecedor deste tipo de sistema construtivo (GRO, 2011). Pode ser preferível ter uma só empresa a lidar com todo o processo, evitando conflitos de planeamento e gestão da obra, mas sobretudo porque numa fase de pós-construção a responsabilidade recairá apenas sobre uma entidade (Peck e Kuhn, 2000). Por outro lado, seria importante que as empresas fornecedoras fossem consultadas durante a fase de projeto, aconselhando sobre as diversas opções de cargas, drenagem e desempenho térmico.

De acordo com a FLL (2008), recomendam-se os seguintes prazos de prescrição das garantias, correspondentes à fase de desenvolvimento dos cuidados de manutenção:

- 4 anos, para a construção da estrutura e todas as instalações técnicas da solução construtiva;
- 2 anos, para a produção da vegetação, se for entregue à empresa contratada a fase de cuidados de desenvolvimento.

Acrescenta-se ainda que caso ocorram anomalias após este período (por exemplo a perda de plantas) o cliente tem o direito de solicitar a garantia, mas somente se os defeitos forem devidos a falhas no serviço prestado pela entidade contratada.

3.4.2. Conservação e Manutenção

Flores-Colen (2010) citando a ISO 15686-1 – *"Service Life Planning"* refere que a Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas de modo a que o edifício e os seus elementos desempenhem, durante a vida útil, as funções para os quais foram concebidos.

A manutenção em coberturas verdes é vista como uma das maiores barreiras para a sua instalação, mas hoje em dia qualquer solução construtiva de cobertura requer 1 ou 2 inspeções por ano. No caso das coberturas verdes, a programação da manutenção é um critério fundamental durante a fase de projeto. Aqui poderão ser antecipadas as atividades necessárias por forma a tornar mais eficaz a sua operação e a optimizar os custos. Por sua vez, estes custos de manutenção devem fazer parte da análise de custo do ciclo de vida do edifício, permitindo uma especificação mais adequada da solução de cobertura verde a ser executada (GRO, 2011).

3.4.2.1. Plano de manutenção

A manutenção deve ser realizada por pessoal qualificado e irá garantir o estabelecimento inicial e a continuidade do revestimento vegetal. Os cuidados de manutenção estão divididos em 3 fases, tal como se apresenta no Fig. 3.4.1 (FLL, 2008; Optigreen, 2013):

1ª **Finalização / Preparação** (definida pelas Normas DIN 18916 e DIN 18917) – Tem uma duração de 12 a 15 meses e corresponde à última operação a ser desenvolvida durante a implementação do sistema de cobertura verde. No final deste período poderá proceder-se à receção da obra por parte do cliente desde que o revestimento vegetal cubra aproximadamente 60% da área verde;

2ª **Desenvolvimento** (definida pela Normas DIN 18919) – Tem uma duração de 2 a 4 anos e corresponde ao período de garantia do sistema construtivo, durante o qual o revestimento vegetal deverá cobrir aproximadamente 90% da área verde;

3ª **Manutenção em serviço** (definida pela Normas DIN 18919) – Será executada durante a vida útil da cobertura verde e corresponde à execução de todas as medidas necessárias para que desempenhe as funções para as quais foi concebida.

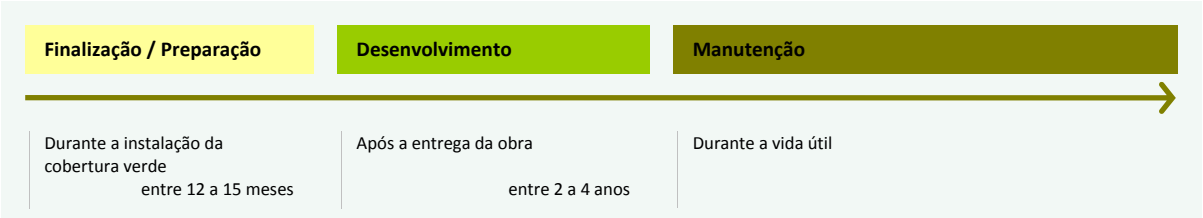


Fig. 3.4.1 – Fases dos cuidados de manutenção (adaptado de FLL, 2008; Optigreen, 2013)

Os cuidados de manutenção são basicamente os mesmos em todas as fases descritas, apenas diferem na necessidade e intensidade dos cuidados a aplicar, de acordo com o tipo de cobertura instalada e o respetivo revestimento vegetal. Regra geral, a periodicidade das atividades de manutenção e inspeção estabelecem-se segundo o tipo de cobertura verde (FLL, 2008):

- Extensiva entre 2 a 4 vezes por ano (e entre 1 a 2 inspecções visuais por ano, para definir que medidas são necessárias);
- Intensiva e intensiva simples entre 8 a 10 vezes por ano;
- Intensiva e intensiva simples com relvados e gramíneas entre 2 a 12 vezes por ano;

3.4.2.2. Atividades de manutenção

A Optigreen (2013), seguindo a recomendação da FLL (2008), enumera os cuidados e atividades de manutenção e inspeção que devem ser realizados em qualquer tipo de cobertura verde, de acordo com a sua necessidade:

a) Irrigação (principalmente durante as 2 primeiras fases);
b) Remoção da vegetação indesejável;
c) Aparar como e quando necessário;
d) Remoção de aparas, folhas e lixo;
e) Adubação;
f) Repetição da semeação e plantação das zonas em mau estado e re-enchimento do substrato;
g) Proteção das plantas e inspeção dos sistemas anti-deslizamento (no caso de coberturas inclinadas);
h) Preservação das zonas limite, faixas de segurança e áreas pavimentadas livres de vegetação;
i) Limpeza das instalações técnicas e sistema de drenagem pluvial.

No caso das coberturas do tipo intensivo são exigidos os seguintes trabalhos adicionais:

a) Execução da poda;
b) Colocação de uma camada de *"mulch"*;
c) Medidas de proteção durante o Inverno;
d) Correção e/ou remoção das soluções de ancoragens de arbustos e árvores;
e) Em superfícies relvadas acessíveis, proceder à escarificação, arejamento e recolocação de areia na superfície do coberto vegetal;
f) Manutenção do sistema de irrigação.

No Quadro 3.7 enuncia-se a periodicidade das principais atividades de manutenção, descritas pela GRO (2011), a desenvolver durante a vida útil de cada um dos tipos de cobertura verde.

Quadro 3.7 – Síntese das atividades de manutenção e sua periodicidade, por tipo de cobertura (adaptado de GRO, 2011)

Atividade	EXTENSIVA	BIODIVERSIDADE	INTENSIVA SIMPLES	INTENSIVA
Irrigação	• Durante a 1ª e 2ª fase do plano de manutenção; • Não exigida durante a 3ª fase; • Avaliar a adaptação das plantas à capacidade de acumulação de água;	• Não exigida;	• Periódica; • Depende das plantas e das condições climáticas;	• Regular; • Depende das plantas e das condições climáticas;
Fertilização	• Baixa necessidade de nutrientes, se necessário, anualmente (Primavera) com fertilizante de libertação lenta;	• Não exigida; • Vegetação espontânea de crescimento natural de baixa densidade; Zero vegetação indesejável;	• Regular;	• Regular;
Gestão da vegetação	• 2 vezes por ano (mín.); • Remoção das espécies indesejáveis e folhas caídas;	• Exige um plano de manutenção para manter o caráter ; • Modificar o desenho da cobertura pode alterar o potencial de criação habitats biodiversos;	• 2 vezes por ano (mín.); • Remoção das espécies indesejáveis e folhas caídas;	• Manutenção da vegetação e efeito estético (regular); • Remoção das espécies indesejáveis e folhas caídas (mín. 2 vezes por ano); • Substituição de plantas (mín. 5% de perdas)
Gerais	• 2 vezes por ano (mín.); • Limpeza do sistema de drenagem pluvial e das faixas de segurança;	• 2 vezes por ano (mín.); • Limpeza do sistema de drenagem pluvial e das faixas de segurança;	• 2 vezes por ano (mín.); • Limpeza do sistema de drenagem pluvial e das faixas de segurança;	• 2 vezes por ano (mín.); • Limpeza do sistema de drenagem pluvial e das faixas de segurança; • Re-colocação de substrato (abatimento)

Para além dos cuidados de manutenção com revestimento vegetal, as coberturas verdes devem estar sujeitas a ações de manutenção dos restantes elementos do sistema construtivo. Nestes casos deverá proceder-se a um planeamento das ações de manutenção pró-ativas para os diversos elementos, englobando as medidas preditivas (inspeções) e preventivas (limpeza, intervenções ligeiras e intervenções profundas), e respetiva calendarização, tendo em consideração as diferentes vidas úteis e materiais passíveis de serem aplicados. Nos Quadros 3.8 e 3.9 expõem-se as periodicidades propostas por Morgado (2012), tendo por base a literatura existente, para cada tipo de ação de manutenção a realizar em cada elemento fonte de manutenção para além do revestimento vegetal.

Quadro 3.8 – Periodicidade de ações de manutenção preditiva para os restantes elementos fonte de manutenção, além do revestimento vegetal, em coberturas inclinadas e planas (adaptado de Morgado, 2012).

Cobertura	**Elemento Fonte de Manutenção (EFM)**	**Periodicidade proposta para ações preditivas**
Inclinada	Estrutura de suporte	Quinquenal
	Sistema de drenagem	Semestral
	Sistema de remates	Bienal
	Elementos de fixação/elementos metálicos	Anual
	Clarabóias e janelas	Anual
	Alvenarias da cobertura	Anual
Plana	Estrutura de suporte	Trienal
	Sistema de impermeabilização	Quinquenal ou Anual (caso exposta às condições climáticas)
	Sistema de drenagem	Semestral
	Sistema de remates	Anual
	Elementos de fixação/elementos metálicos	Anual
	Alvenarias da cobertura	Semestral

Quadro 3.9 – Periodicidade de ações de manutenção preventiva para os restantes elementos fonte de manutenção, além do revestimento vegetal, em coberturas inclinadas e planas (adaptado de Morgado, 2012).

Cobertura	**Elemento Fonte de Manutenção (EFM)**		**Periodicidade proposta para a cada operação de manutenção**		
			Limpeza	Intervenções ligeiras	Intervenções profundas
Inclinada	Estrutura de suporte	Madeira	Quinquenal	Quinquenal	25 anos
		Metálica	Quinquenal	Decenal	25 anos
		Betão armado	Quinquenal	Decenal	30 anos
	Sistema de drenagem		Semestral	Sempre que necessário	Quinquenal
	Sistema de remates		Anual	Quinquenal	15 anos
	Elementos de fixação/elementos metálicos		Anual	Quinquenal	Sempre que necessário
	Clarabóias e janelas		Semestral	Quinquenal	Decenal
	Alvenarias da cobertura		Anual	11 anos	25 anos
Plana	Estrutura de suporte	Madeira	Quinquenal	Quinquenal	25 anos
		Metálica	Quinquenal	Decenal	25 anos
		Betão armado	Quinquenal	Decenal	30 anos
	Sistema de impermeabilização		Anual	Sempre que necessário	20 anos
	Sistema de drenagem		Semestral	Sempre que necessário	Decenal
	Sistema de remates		Anual	Quinquenal	15 anos
	Elementos de fixação/elementos metálicos		Anual	Quinquenal	Sempre que necessário
	Alvenarias da cobertura		Anual	11 anos	25 anos

3.4.2.3. Prevenção de danos e anomalias

As ações de manutenção são uma das principais fontes de ocorrência de anomalias em sistemas de cobertura verde. O seu planeamento torna-se fundamental afim de diminuir os encargos e minimizar os riscos de danos na solução construtiva. Segundo o GRG (2011), durante as atividades de manutenção e inspeção deverão ser tomadas as seguintes medidas:

a) Assegurar a informação necessária aos operários, que estejam a realizar ditas atividades, sobre o sistema construtivo;
b) As ferramentas devem ser devidamente escolhidas por forma a não interferirem ou danificarem nenhum dos elementos abaixo do substrato;
c) As atividades devem ser programadas a fim de minimizar a quantidade de tráfego sobre a cobertura verde. Andar repetidamente sobre uma área limitada irá resultar na compressão do substrato e em danos na vegetação.

Para além dos problemas que possam surgir com as atividades de manutenção, Tolderlund (2010) enumera as causas normais de ocorrência de anomalias em sistemas de coberturas:

a) Deficiências na conceção e instalação da solução construtiva;
b) Imperfeição na resolução dos pontos singulares;
c) Dimensionamento incorreto do sistema de drenagem;
d) Crescimento de vegetação e deposição de substrato de crescimento nas margens de segurança;
e) Funcionamento incorreto do sistema de rega;
f) Anomalias causadas pelos sistemas de suporte dos equipamentos mecânicos, painéis solares/fotovoltaicos, sistemas de suporte de árvores, pergolas, etc.

A erosão dos substratos é apontada pela FLL (2008) como uma das principais fontes de ocorrência de anomalias e como tal, é um dos principais fatores a ter em consideração na conservação e manutenção dos revestimentos vegetais. Os sistemas de cobertura verde estão particularmente sujeitos aos efeitos da erosão causados pela ação do vento e da água. O risco é maior durante o período entre a fase de finalização e a fase de desenvolvimento das raízes nas camadas subjacentes. Esse risco pode ser reduzido se a instalação do revestimento vegetal for realizada numa altura do ano em que as condições sejam mais favoráveis para o crescimento da vegetação. A FLL (2008) faz notar que, durante esse período, os elementos que estão mais sujeitos a esses riscos são o substrato de crescimento, as plantas e as próprias sementes. No caso do substrato, o grau de risco de erosão pelo vento, não deverá ser avaliado com base na velocidade do vento, mas baseados na resistência à fricção específica dos materiais utilizados. Para além das medidas já enunciadas de proteção contra o efeito de sucção (capítulo 3.3.2.3), serão necessárias por em prática algumas das seguintes medidas de prevenção (FLL, 2008):

1. **<u>Específicas dos sistemas de cobertura verde</u>**
   - Uso de substratos vegetais estáveis com cargas mais elevadas, mesmo em estado seco;
   - Aplicação de *mulch* à base de gravilha;

• Seleção de plantas e formas de vegetação de maior durabilidade e rapidez de cobertura da superfície a plantar.

2. **Temporárias**

• Manter o substrato vegetal permanentemente húmido durante a primeira fase do plano de manutenção (Finalização/Preparação);

• Fixação das sementes, dos brotos e da superfície do substrato vegetal através da aplicação de um fixador de solos;

• Colocação de uma rede de proteção contra a erosão, que se deve manter, pelo menos, até estar terminada a primeira fase do plano de manutenção (Fig. 3.4.2).

3. **Especiais – situações de grande exposição ao vento e em coberturas de maior inclinação**

• Semear a vegetação através de hidro-semeação;

• Cobrir toda a superfície a plantar com tapetes de vegetação pré-cultivados;

• Em coberturas de maior inclinação, as áreas expostas ao sol têm necessidade de ser irrigadas e fertilizadas com maior frequência, de modo a garantir que o revestimento vegetal desempenha a função de proteção contra a erosão;

Fig. 3.4.2 – Rede de juta de proteção contra a erosão.
(Fonte: Werthmann, 2007)

3.4.2.4. Principais anomalias

Schunck et al. (2003) alerta para os danos provocados pelo fraco desenvolvimento das plantas. Se as plantas escolhidas se revelarem inadequadas para as condições climáticas locais e para a solução construtiva encontrada, deverá ser esperado um aumento da quantidade de trabalho, podendo ser necessário remover e substituir a vegetação inteira junto com a camada de substrato de crescimento. As falhas com as plantas também podem danificar a camada de substrato quando esta é incapaz de suportar a radiação ultravioleta ou o calor (por exemplo, alguns materiais sintéticos) devido ao facto de as plantas já não fornecerem a sombra necessária e/ou se houver uma cobertura insuficiente do substrato. Quando isto leva a uma perda permanente da coesão necessária no interior do substrato, este pode escorregar caso esteja numa cobertura relativamente íngreme. Neste caso, a solução construtiva de toda a cobertura deverá ser renovada juntamente com a vegetação.

O mesmo autor relembra ainda que a instalação incorreta da barreira de vapor pode levar a problemas de condensação. No caso de uma estrutura de suporte em madeira, podem ocorrer problemas de apodrecimento das peças estruturais. No Quadro 3.10 enumeram-se as principais anomalias que ocorrem em sistemas de coberturas verdes e as suas causas prováveis descritas por Farrall e da Costa (2011).

Quadro 3.10 – Principais anomalias e causas prováveis em sistemas de coberturas verdes. (adaptado de Farrall e da Costa, 2011)

PRINCIPAIS ANOMALIAS	CAUSAS PROVÁVEIS	
Estagnação hídrica **(**Fig. 3.4.3)	• Declive insuficiente; • Camada drenante inexistente ou inadequada; • Número insuficiente de pontos de escoamento.	
Efeito de varrimento e empolamento por ação do vento (Fig. 3.4.4)	• Substrato demasiado leve; • Coberto vegetal insuficiente; • Erro de conceção e/ou instalação – inexistência ou insuficiência de cargas para proteção contra o efeito de sucção;	
Queda da vegetação por ação do vento – efeito de "vela" **(**Fig. 3.4.5)	• Escolha desadequada de plantas; • Ancoragem inexistente ou inadequada; • Profundidade do substrato insuficiente;	
Compactação do substrato **(**Fig. 3.4.6)	• Distribuição granulométrica desadequada (excesso de elementos finos no substrato); • Excesso de material argiloso; • Excesso de matéria orgânica.	
Crescimento deficiente das plantas **(**Fig. 3.4.7)	• Escolha desadequada de plantas; • Falta de integração entre as plantas e a solução construtiva; • Substrato inadequado; • Manutenção insuficiente ou inexistente;	
Abandono **(**Fig. 3.4.8)	• Manutenção insuficiente ou inexistente;	

3.5. Considerações finais

O Manual de Boas Práticas apresentado neste capítulo visa abranger de uma forma geral o conjunto de requisitos necessários a considerar para o desenvolvimento de um processo de implementação de sistemas de cobertura verde no topo dos edifícios.

Cada projeto de cobertura verde terá os seus próprios requisitos específicos: programáticos, de conceção e de manutenção. Enquanto que as diferentes camadas funcionais são características semelhantes às diferentes soluções construtivas, a sua ensamblagem e os materiais utilizados estarão dependentes do programa e dos objetivos definidos à partida, que por sua vez, serão determinados pelos fatores específicos de cada localização, que influenciarão o desempenho e o desenvolvimento da vegetação ao longo do tempo. Neste ponto, o fator económico terá um papel fundamental na viabilidade destes processos sendo que os promotores deverão estar esclarecidos de que o alcance dos diversos benefícios de sustentabilidade económica, ambiental e social para os ambientes construídos que advêm da incorporação desta tecnologia no topo dos edifícios, lhes exige um esforço orçamental potencialmente mais elevado a curto prazo, mas de ganhos a longo prazo.

O sucesso da sua implementação exige uma inter-relação entre todas as partes envolvidas, desde os projetistas das diferentes especialidades (arquitetura, estruturas, paisagismo, etc.) até aos construtores e instaladores. Por este motivo, e para não afetar a qualidade da construção e os custos previstos, inviabilizando a implementação da solução construtiva, é fundamental que todas as questões, sistemas e componentes sejam acordados desde as fases iniciais, de conceito e desenhos esquemáticos, e resolvidas com maior detalhe durante as fases posteriores, de forma coordenada entre as partes.

O Manual de Boas Práticas desenvolvido pretende servir de meio para o esclarecimento de questões como:

- De que forma podem ser integrados num sistema os diversos componentes selecionados?
- Como coordenar as diferentes especialidades através de desenhos e especificações técnicas?
- De que forma se pode antecipar e reconhecer as áreas comuns e de sobreposição entre as partes envolvidas?
- Como evitar a duplicação de informação?
- Como evitar a omissão involuntária de informações fundamentais?

Assim, a coordenação da informação entre as diversas disciplinas revela-se essencial para o sucesso de toda a operação, de modo a não existir informação duplicada, em falta ou confusa durante a fase de construção, que resultará em atrasos, erros na instalação e consequentes custos adicionais.

Muitos dos condicionantes, problemas e complexidades da construção de sistemas de cobertura verde são semelhantes aos encontrados na construção de outros sistemas construtivos e de paisagismo. No entanto, a integração dos componentes e sistemas requer maior atenção às questões logísticas, de gestão e planeamento

da obra, de proteção dos trabalhos que vão sendo realizados durante a fase de instalação, e também com as questões de prevenção de ocorrência de anomalias durante a fase manutenção. Um dos aspetos importantes a considerar nestas fases prende-se com o facto de estes trabalhos deverem ser realizados por mão de obra qualificada para este tipo de operação e conhecedora das especificidades da solução construtiva instalada. O outro aspeto importante a ter em consideração resulta de a maior parte dos componentes e sistemas que sustentam as coberturas verdes estarem abaixo da superfície do substrato e de difícil visibilidade tornando mais complicada a deteção de qualquer erro de construção ou dano acidental nos componentes da solução construtiva, que apenas se tornarão evidentes após alguma deterioração.

Por forma a organizar as várias etapas de decisão necessárias à implementação de coberturas verdes em edifícios, quer seja em construção nova ou em reabilitação/adaptação de edifícios existentes apresenta-se em seguida um conjunto de considerações de apoio à prática de sistemas de coberturas verdes, com base no especificado neste Manual de Boas Práticas e adaptado de ASD (2007). Estas considerações estão divididas em 3 categorias de abordagem e 19 critérios de verificação.

A primeira categoria refere-se ao planeamento e viabilidade da operação a realizar, abordando os objetivos que se pretendem alcançar, o tipo de operação a realizar (construção nova ou reabilitação/ adaptação de edifícios existentes), a área e a inclinação da cobertura, as condições climáticas locais, a acessibilidade, limites estruturais e a segurança.

A segunda categoria aborda as considerações necessárias para a seleção e ensamblagem dos diferentes componentes a adotar na solução construtiva, como o isolamento térmico, o sistema de impermeabilização, a barreira de raízes, a camada drenante e o sistema de drenagem, a camada filtrante, os substratos de crescimento, a seleção de plantas e sistema de irrigação.

Por fim, a terceira categoria aborda as questões relacionadas com a gestão da obra e com a manutenção em serviço.

CONSIDERAÇÕES DE APOIO À PRÁTICA DE SISTEMAS DE COBERTURAS VERDES

CRITÉRIO	CONSIDERAÇÕES	NOTAS e REFERÊNCIAS
Planeamento e viabilidade		
C1 Geral	Quais são os objetivos do cliente para a implementação da cobertura verde? E quais são os objetivos principais da cidade para a implementação de coberturas verdes?	
	Qual é o orçamento inicial e quais são os custos no ciclo de vida?	
	Quem vai ver ou apreciar a cobertura verde?	As coberturas verdes não visíveis para o público podem ser projetadas para menos apelo visual e mais para o desempenho e eficiência ecológica dos edifícios.
	A cobertura verde justifica-se no contexto local?	Em alguns casos (como em áreas rurais, onde os benefícios das coberturas verdes não serão tão valorizados) uma investigação completa sobre as necessidades de uma cobertura verde precisam ser avaliadas. Pode ser mais eficaz em termos de resultados visuais e de custos iniciais e de manutenção baixos.
	A cobertura verde será aplicada em estruturas especiais com requisitos especiais de manutenção e acesso?	As propostas de enverdecimento de estruturas rodoviárias deve ser avaliada caso a caso e deve ter em conta as condições especificas de cada local.
C2 Tipo de construção e operação	Construção nova, existente ou necessidade de reparação ou substituição?	
	A impermeabilização existente pode acomodar a solução construtiva sem necessidade de nova impermeabilização? Se sim, quem assume a responsabilidade pela impermeabilização?	Uma cobertura deteriorada pode ser o momento mais oportuno e mais rentável para a substituir por uma cobertura verde.
C3 Área de cobertura	Existe espaço suficiente na cobertura para incorporar uma área significativa de plantas, caminhos de acesso, equipamentos, guardas e dispositivos de segurança e os acessos por escadote ou caixa de escadas?	
	Em edifícios novos, os equipamentos foram dispostos por forma a optimizar o espaço funcional e maximizar a área plantada?	
C4 Inclinação da cobertura	Cobertura plana ou inclinada?	
	Estão consideradas medidas de proteção contra o deslizamento do substrato de crescimento?	
	Em que medida a inclinação pode afetar a drenagem?	As camadas de drenagem em algumas coberturas inclinadas podem não ser necessárias visto o substrato poder ser capaz de drenar facilmente por si só. Por outro lado pode resultar numa drenagem demasiado rápida. Os requisitos de drenagem sob essas circunstâncias devem ser vistos por profissionais qualificados.
	Estão considerados os fluxos de água superficiais e as taxas de infiltração de água? A camada de drenagem é capaz de remover o excesso de água de forma eficaz?	Podem ser usadas ripas e grades de madeira para conter a problema até inclinações de 30º. Inclinações mais íngremes pode exigir misturas de substratos e dispositivos especiais.
C5 Ventos e clima	Serão os ventos mais severos um problema?	
	Estão considerados os limites locais de velocidade do vento?	Alguns dos problemas do vento ocorrem como resultado de vórtices nos beirados das coberturas criados por correntes de ar a partir das faces do edifício. A construção pode ser projetada para limitar este problema utilizando faces irregulares ou de maior relevo (varandas cobertas de plantas, por exemplo). As forças de sucção são mais fortes perto dos beirados e cantos da cobertura.
	Estão consideradas medidas contra o efeito de sucção pela a ação do vento?	
	A membrana de impermeabilização precisa ser colada ao suporte?	
	Estão consideradas medidas de proteção contra a erosão?	Substratos leves como LECA, vermiculite e perlite são muito leves para aplicações em cobertura. No entanto, se estes são cobertos com substratos mais pesados esse risco é minimizado. As forças de sucção também podem ser mitigadas pelo aumento do parapeito. Os problemas de erosão poderão exigir a utilização de malhas anti-erosão, colocadas imediatamente abaixo da superfície do solo.
	Estão consideradas medidas de suporte de árvores? Se sim, como é que é esta interface com a impermeabilização caso seja necessário conetar diretamente com a estrutura?	
	São necessários sistemas de pára-raios?	

CONSIDERAÇÕES DE APOIO À PRÁTICA DE SISTEMAS DE COBERTURAS VERDES (continuação)

CRITÉRIO	CONSIDERAÇÕES	NOTAS e REFERÊNCIAS
Planeamento e viabilidade		
C6 Acessibilidade	Cobertura acessível ou inacessível?	A acessibilidade e a segurança na manutenção também precisam ser consideradas. Acessos difíceis ou inseguros durante a construção e manutenção pode aumentar os prémios de seguro de trabalho.
	Como será o acesso à cobertura?	Em casos especiais pode-se requerer a montagem de andaimes temporários para manutenção.
	Se a cobertura é acessível, tem espaço e capacidade de carga para guardas, luzes, pavimentos, etc?	
	Estão previstas medidas de segurança para acesso de pessoas? E de proteção contra quedas para manutenção?	
	As áreas pavimentadas estão feitas com materiais leves e duradouros?	
C7 Limites estruturais	Quais são os limites de carga da estrutura de cobertura?	As cargas comuns em coberturas extensivas variam entre 60 a 150 kg/m², enquanto que em coberturas intensivas podem variar entre 180 a 500 kg/m².
	O cálculo das cargas foram elaborados por um engenheiro civil ou por uma pessoa devidamente qualificada?	
	As cargas permanentes contabilizam todos os componentes (solução construtiva, pavimentos, tubagens, equipamentos, etc)?	
	Estão contabilizados os pesos de saturação da solução construtiva? E o peso das plantas em fase de maturidade, particularmente das árvores?	
	As sobrecargas estimadas contabilizam todos os componentes (águas da chuva, vento, pessoas)?	
	A estrutura da cobertura tem diferentes capacidades de carga?	Ou seja, existe maior capacidade de carga diretamente acima das vigas de suporte e paredes podendo-se aumentar a profundidade do substrato.
	Estão considerados materiais ligeiros como forma de aumento da profundidade, sem que seja adicionado peso significativo?	(por exemplo, betão leve, poliestireno, etc)
	O fornecedor dispõe de informações técnicas detalhadas sobre a solução construtiva, inclusive a comprovação do peso de saturação?	
	Na adaptação de coberturas existentes, existem materiais passíveis de serem retirados a fim de permitir maior capacidade de carga?	Por exemplo as telhas em coberturas inclinadas ou a camada de proteção em seixo rolado em coberturas planas.
C8 Planeamento geral	Estão consideradas medidas de proteção das juntas de dilatação?	Juntas de dilatação precisam ser acessíveis para manutenção. As coberturas verdes em pontes podem exigir lajes espessas de betão armado em ambos os lados da articulação que devem estar reconhecidas desde a fase de conceção.
	Estão considerados zonas de passagem para manutenção?	Os caminhos de manutenção são especialmente relevantes em coberturas extensivas porque muitas vezes definem o layout das zonas plantadas.
	Localização ou re-localização de equipamentos mecânicos	
C9 Segurança contra incêndio	Estão previstas medidas de proteção contra incêndios?	Margens de segurança e composição do substrato, por exemplo.
Componentes		
C10 Isolamento térmico e enchimentos leves	É necessário isolamento térmico adicional?	
	Qual o material de isolamento a utilizar e a sua sensibilidade à agua?	
	Qual a forma de aplicação da camada de isolamento térmico	
	São necessários enchimentos leves para criação de diferenças de nível na superfície plantada?	
	Que tipo de isolamento ou enchimento leve é necessário?	Em poliestireno (inflamável, poluente, mas muito leve) ou em betão leve (mais pesado, mais robusto e ambientalmente amigável).
C11 Impermeabilização	Qual é o tipo de membrana de impermeabilização a considerar?	
	Estão previstos testes e ensaios de deteção de fugas, antes da instalação do revestimento vegetal?	
	A impermeabilização tem alguma garantia? Com diferentes fornecedores de componentes, essa garantia ainda é válida?	
	Como é assegurado o controlo de qualidade da impermeabilização? Estão consideradas medidas de proteção temporária da membrana de impermeabilização durante a construção?	Os sub-empreiteiros devem estar coordenados para garantir que a impermeabilização não seja comprometida durante a construção.

CONSIDERAÇÕES DE APOIO À PRÁTICA DE SISTEMAS DE COBERTURAS VERDES (continuação)

CRITÉRIO	CONSIDERAÇÕES	NOTAS e REFERÊNCIAS
Componentes		
C12 Barreira de raízes	A solução construtiva precisa de uma barreira de raízes adicional? Ou será a membrana de impermeabilização a cumprir esta função?	
	As membranas de impermeabilização / barreiras de raízes estão devidamente rematadas?	
	Qual a eficácia da barreira de raízes?	As barreiras de raízes quando colocadas soltas devem sobrepor-se pelo menos 1,5 m para evitar o crescimento de raízes laterais.
	A barreira de raízes foi testada de acordo com as directrizes da FLL (2008), ou segundo a Norma EN 13948:2007?	
C13 Camada drenante e sistema de drenagem	Estão consideradas medidas de proteção contra o deslizamento, se a inclinação for superior a 11°?	Acima dos 20° são necessárias medidas especiais. Acima dos 30° as plantas podem apresentar problemas de desempenho.
	Como será executada a camada de drenagem?	Camadas mais baratas e mais pesadas em agregados de pedra. Camadas mais leves em esteiras de plástico para armazenamento de água, ou mais robustas em plástico perfilado elaboradas para uma rápida remoção do excesso de água e para cargas mais pesadas de substrato.
	O sistema de drenagem está projetado para grandes eventos de precipitação? Existem pelo menos duas saídas de escoamento? Num grande evento de precipitação as plantas correm o risco de submergirem? Por quanto tempo?	
	Estão previstas medidas de aumento da capacidade de drenagem junto das saídas de escoamento? Estão previstas medidas de proteção das saídas contra a proliferação da vegetação?	
	A camada drenante é suficiente para eventos de média precipitação?	
	Os impactos da drenagem no desempenho da solução construtiva estão estudados por um especialista em drenagem?	
	A solução construtiva tem capacidade de retenção e acumulação de água? Quanto tempo permanecerá? Até ao próximo evento de precipitação ou será necessária irrigação?	
	Se a camada drenante acumula água, o seu peso foi considerado nos cálculos de capacidade de carga?	
C14 Camada filtrante	A camada filtrante é leve, à prova de podridão, de baixo custo, fácil de instalar e permanente?	
	Qual a eficácia da camada filtrante?	Geralmente utilizam-se feltros geotêxteis de polipropileno. As diferentes folhas devem ser sobrepostas 20 cm.
	Estão considerados os remates adequados da camada filtrante?	
C15 Substrato de crescimento	O substrato de crescimento será especificado por um profissional experiente e qualificado?	
	O substrato tem as características específicas para aplicação em sistemas de cobertura verde (peso, absorção de água, estabilidade, resistência, drenagem e área de superfície)?	
	Como será o substrato transportado para a cobertura? E será bem instalado e testado corretamente?	
C16 Seleção de plantas	As plantas serão especificadas por um profissional experiente e qualificado?	
	Serão usadas plantas endógenas, adaptadas ou outro tipo?	A utilização de plantas deve estar de acordo com a legislação vigente.
	As plantas selecionadas estão adaptadas ao ambiente local e especifico das coberturas? Estão consideradas as taxas de crescimento, a sensibilidade aos poluentes no ar, a capacidade de suportar o vento, tolerância à seca e resistência ao fogo?	
	Estarão disponíveis de imediato? Se não, em quanto tempo?	
	Qual será a forma de instalação (sementes, rebentos, cultivo direto, tapetes de vegetação)?	Esta especificação afeta o preço e faz com que se estabeleçam em ritmos diferenciados
	Estão consideradas as horas de exposição solar e horas em sombra?	
C17 Irrigação	Será necessária irrigação durante a estação seca?	
	Serão necessários pontos água adicionais? Ou serão necessários reservatórios e bombas?	
	Que tipo de sistema de irrigação será necessário?	Os aspersores são mais baratos, mas são ineficientes em condições de vento. A irrigação de superfície por gota-à-gota é mais caro e vulnerável aos raios UV.
	Será utilizado um sistema manual, semi-automático ou totalmente automatizado?	

CONSIDERAÇÕES DE APOIO À PRÁTICA DE SISTEMAS DE COBERTURAS VERDES (continuação)

CRITÉRIO	CONSIDERAÇÕES	NOTAS E REFERÊNCIAS
Gestão e manutenção		
C18 Gestão	O plano de manutenção está definido?	
	Serão necessárias medidas especiais de acesso, como andaimes?	
	Quem será o responsável pela gestão e manutenção?	É aconselhável estabelecer as responsabilidades de manutenção antes da implementação.
	Como será o acesso à cobertura?	O acesso para manutenção e para o público necessita ser controlado. Por vezes, as coberturas não destinadas ao acesso público podem atrair visitantes por curiosidade.
	Será necessária formação em jardinagem?	Em coberturas intensivas é necessária uma equipa de manutenção de jardins. A manutenção de uma cobertura extensiva é mais fácil pode ser executada pela equipa de manutenção do edifício. Na maioria dos casos uma aula introdutória de 2 horas por um profissional qualificado é suficiente.
	Será necessária a colocação de contentores de resíduos e a devida manutenção associada?	
	Serão feitas medições às variações de temperatura para determinar as alterações de eficiência energética? Quem será responsável por estas medições?	As medições devem ser feitas na instalação da cobertura verde por equipas ou profissionais qualificados. Podem ser usados usar pirómetros, câmaras de infra-vermelhos ou câmaras de termografia (muito caro) para determinar as temperaturas de construção.
C19 Manutenção	Em que medida a seleção de plantas influência a manutenção?	
	Qual a periodicidade de inspeção do desenvolvimento das plantas?	
	Quantas vezes a irrigação necessita ser ligada? Qual a periodicidade de verificação do sistema de irrigação?	
	Qual a periodicidade de remoção de ervas daninhas?	
	Qual a periodicidade da fertilização?	
	Qual a periodicidade de monda?	
	Qual a periodicidade da inspeção do estacamento das árvores?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção da estrutura de suporte?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção do sistema de drenagem?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção da membrana de impermeabilização?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção dos remates, dos elementos de fixação/elementos metálicos?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção das alvenarias da cobertura?	
	Qual a periodicidade de inspeção e manutenção das clarabóias e janelas da cobertura?	

4. ANÁLISE E VERIFICAÇÃO PRÁTICA DE CASOS DE ESTUDO

4.1. Considerações iniciais

Neste capítulo pretende-se efetuar uma análise e verificação prática do Manual de Boas Práticas aplicada a dois casos de estudo. No primeiro, pretende-se verificar as boas práticas e/ou propor possíveis melhorias numa cobertura verde de um edifício de construção recente. No segundo caso de estudo procura-se, com base nos requisitos construtivos dos sistemas de coberturas verdes apresentados ao longo do capítulo 3, avaliar a viabilidade de implementação desta tecnologia numa cobertura plana existente de um edifício de construção antiga. Deste modo foram selecionados os seguintes casos de estudo:

1. Coberturas verdes da "Torre Verde", Lisboa (Fig. 4.1.1 e 4.1.2);
2. Coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha, Lisboa (Fig. 4.1.3 e 4.1.4).

A proposta destes dois casos visa ampliar o estudo e o espectro de implementação de coberturas verdes em ambientes urbanos e obter uma perspetiva abrangente das potencialidades da tecnologia.

Fig. 4.1.1 – Vista exterior da Torre Verde (Fonte: LiderA, 2007).

Fig. 4.1.2 – Vista das coberturas verdes.

Fig. 4.1.3 – Vista exterior de um dos edifícios.

Fig. 4.1.4 – Vista da cobertura plana de um dos edifícios.

4.2. Metodologia de análise e verificação prática dos casos de estudo

A análise e a verificação dos casos de estudo apresentados serão orientadas tendo por base o desenvolvimento de fichas de caracterização e verificação aplicadas aos dois casos (ver Anexo 3). Esta abordagem pretende, de uma forma sistemática, registar as principais características dos edifícios e das coberturas alvo do estudo e recolher a informação tão completa quanto possível a fim de apreciar o potencial de aplicabilidade do Manual de Boas Práticas desenvolvido no capítulo 3.

À semelhança das "checklists" encontradas na literatura (ver Anexo 4), as **Fichas 1, 2, 3 e 4**, que se apresentam nos Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, pretendem servir de base à coordenação de informação entre as diversas disciplinas, entidades e consultores, que podem ser envolvidos no desenvolvimento de processos de planeamento, de instalação e de manutenção de sistemas construtivos de coberturas verdes, de forma a ser possível inferir o tipo e a quantidade de trabalhos necessários a ser previstos em casos semelhantes aos apresentados, de verificação e inspeção de coberturas verdes e de reabilitação de coberturas existentes utilizando um sistema de revestimento vegetal.

Na **Ficha 1** regista-se a informação geral do edifício e o tipo de envolvente urbana e ambiental, permitindo aferir as características principais da sua localização.

Quadro 4.1 – Identificação geral do edifício e da sua envolvente.

<table>
<tr><th colspan="8">FICHA 1
INFORMAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO</th></tr>
<tr><td>Nome / localização do edifício</td><td colspan="6"></td><td rowspan="10">Fotografia de identificação</td></tr>
<tr><td>Ano de construção e/ou projeto</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Caracterização funcional</td><td>Habitação</td><td></td><td>Comércio</td><td></td><td>Serviços</td><td></td></tr>
<tr><td>Industrial</td><td></td><td>Outro</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Nº de pisos</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">Tipo de envolvente</td><td colspan="5">Rural – terreno aberto, plano, sem obstáculos</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Rural – terreno com relevo e com obstáculos (casas, construções agrícolas, árvores, etc.)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Suburbana</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Urbana</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Marítima</td><td></td></tr>
<tr><td>Observações</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

A **Ficha 2** dirige-se ao primeiro caso de estudo, de verificação e inspeção de uma cobertura verde de modo a avaliar as boas práticas desenvolvidas e propor possíveis alterações na perspetiva de melhorar o seu desempenho em serviço. Nesta ficha regista-se a informação das principais características da cobertura verde, nomeadamente: a estrutura de suporte; o tipo de uso; as características das diferentes componentes da solução construtiva de revestimento vegetal e sua ensamblagem; medidas de proteção e manutenção previstas; e tipo de equipamentos que possam eventualmente existir juntamente com a cobertura verde.

Quadro 4.2 – Caracterização, verificação e inspeção de coberturas verdes.

FICHA 2 **CARACTERIZAÇÃO, VERIFICAÇÃO E INSPEÇÃO DE COBERTURAS VERDES**								
Forma								
Acessibilidade e utilização	Não acessível		Acessível a pessoas		Acessível a veículos			
	Uso							
Altura ao solo (m)								
Área	m^2		Inclinação / Pendente		°		%	
Beirais e platibandas	Altura dos beirais		mm	Altura das platibandas			mm	
Orientação Solar								
Exposição aos ventos					Velocidade média de vento		m/s	
Estrutura de suporte e capacidade de carga	Continua		Descontinua					
	Betão armado		Aço		Madeira			
	Alvenaria		Outra					
	Cargas permanentes		kg/m^2		Sobrecargas		kg/m^2	
Estabilidade da inclinação	Medidas de proteção contra o deslizamento?							
Estabilidade ao vento	Medidas de proteção contra a ação do vento?							
Acesso e segurança	Acesso à cobertura							
	Medidas de proteção contra quedas?							
	Medidas contra a propagação de incêndio?							
	Margens de segurança							
Isolamento térmico	Com isolamento		Sem isolamento					
	Tradicional		Invertida		Sob a estrutura			
	Material						mm	
Sistema de impermeabilização	Múltiplas camadas		Camada única		Membranas liquidas			
	Membrana (material)							
	Barreira de raízes, de acordo com a FLL ou com a EN 13948 (material)							
	Camada de proteção							
	Camada de separação							
	Altura dos rebordos						mm	
	Estado de conservação das membranas, rebordos e vedantes?							
	Inspeções e ensaios de deteção de fugas?							
Gestão das águas pluviais	Nº de saídas e pontos de escoamento?							
	Dimensão do sistema de drenagem?							
Solução construtiva de cobertura verde	Fornecedor / instalador							
	Tipo de cobertura verde	Extensiva			Intensiva simples			
		Intensiva			Híbrida			
	Solução construtiva	Multi-camada			Camada única			
	Aplicação	Aplicação *in situ*			Aplicação modular			
	Tipo de vegetação							
	Substrato				altura		mm	
	Camada filtrante							
	Camada Drenante				altura		mm	
	Peso de saturação	kg/m^2		Peso seco			kg/m^2	
	Taxa de retenção de água	%		Acumulação de água			l/m^2	
	Coeficiente de drenagem							
	Estado de conservação da solução construtiva e da vegetação?							
Qualidade e manutenção	A solução construtiva foi executada por uma ou mais entidades? Quais as responsabilidades e garantias?							
	Existe um plano de manutenção?							
Irrigação	Nº de pontos de abastecimento de água?		Tipo de sistema					
	É necessária durante a estação seca?							
Equipamentos mecânicos	AVAC's		Painéis solares		Painéis fotovoltaicos			
	Outros							

A abordagem ao segundo caso de estudo, onde se pretende avaliar a viabilidade de implementação de um sistema de revestimento de cobertura verde numa cobertura existente, será desenvolvida com base na **Ficha 3** e **Ficha 4**.

Na **Ficha 3** regista-se a informação relativa às características da cobertura existente, tais como: a forma; o acesso e a utilização; o tipo de estrutura de suporte e a sua capacidade de carga; a existência de isolamento térmico; as características do sistema de impermeabilização; a capacidade de drenagem da cobertura; as características do revestimento existente; e a presença de pontos de águas e equipamentos mecânicos.

Quadro 4.3 – Caracterização de uma cobertura existente.

FICHA 3 **CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA EXISTENTE**								
Forma	Plana		Inclinada - duas águas		Inclinada - quatro águas			
	Inclinada - uma água		Inclinada - três águas		Irregular / curva			
Acessibilidade e utilização	Não acessível		Acessível a pessoas		Acessível a veículos			
	Uso							
Altura ao solo (m)								
Área	m^2	Inclinação / Pendente			°	%		
Proteção contra quedas								
Beirais e platibandas	Altura dos beirais	mm	Altura das platibandas			mm		
Orientação Solar								
Exposição aos ventos				Velocidade média de vento		m/s		
Estrutura de suporte e capacidade de carga	Continua		Descontinua					
	Betão armado		Aço		Madeira			
	Alvenaria		Outra					
	Cargas permanentes		kg/m^2	Sobrecargas		kg/m^2		
Isolamento térmico	Com isolamento		Sem isolamento					
	Tradicional		Invertida		Sob a estrutura			
	Material					mm		
Sistema de impermeabilização	Múltiplas camadas		Camada única		Membranas liquidas			
	Membrana (material)							
	Estado de conservação							
	Barreira de raízes, de acordo com a FLL ou com a EN 13948 (material)							
Sistema de drenagem pluvial	Nº de saídas de escoamento?							
Camada de proteção ou Revestimento	Proteção	Leve				mm		
		Pesada solta				mm		
		Pesada rígida				mm		
	Revestimento	Pétreo						
		Cerâmico						
		Metálico						
		Plástico						
		Misto						
Abastecimento de água	Nº de pontos de abastecimento de água?							
Equipamentos mecânicos	AVAC's		Painéis solares		Painéis fotovoltaicos			
	Outros							

A viabilidade de implementação de um sistema de revestimento vegetal numa cobertura existente deverá ser vista da mesma forma como em construção nova, partindo do estabelecimento de quais os principais objetivos

a alcançar. É fundamental que sejam definidos de forma ponderada e precisa, de modo a atingir um maior impacto e uma melhor eficiência de custos. As diferenças prendem-se obviamente com a capacidade da cobertura existente receber o novo revestimento e, para que tal aconteça, que implicações e condicionantes advêm para o seu planeamento e para a sua instalação. Como se tratam de coberturas existentes, a capacidade de receber um revestimento vegetal estará condicionada à partida pela capacidade de carga da estrutura, pelo tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização e pela capacidade de escoamento da cobertura.

A **Ficha 4** expõe um conjunto de questões que devem ser consideradas para a verificação dessa viabilidade. Juntamente com as informações recolhidas através da Ficha 3, pretende-se estabelecer quais os tipos e quantidades de trabalho necessários efetuar, programá-los e sobretudo antecipar os custos inerentes, permitindo desta forma avaliar a viabilidade de implementação do novo revestimento vegetal. Esta última ficha, está dividida em 9 parâmetros de averiguação: definição de objetivos e usos previstos; avaliação da capacidade da estrutura existente receber o novo revestimento vegetal; necessidade de medidas de proteção; necessidade de integração de isolamento térmico; necessidade de reparação/substituição do sistema de impermeabilização; medidas para a correta e eficiente gestão das águas pluviais; condicionantes da cobertura existente para o desempenho da vegetação; necessidade de re-localização de equipamentos mecânicos; e necessidade de implementar um plano de manutenção.

Quadro 4.4 – Verificação da viabilidade de implementação de coberturas verdes em coberturas existentes.

FICHA 4 **VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE COBERTURAS VERDES EM COBERTURAS EXISTENTES**		
Geral	Quais são os objetivos da implementação da cobertura verde?	
	Acessibilidade e uso previstos (por exemplo, terraço ou horta urbana)?	
	Qual o tipo de cobertura verde proposto?	
Estabilidade	A estrutura suporta o conjunto de cargas permanentes e sobrecargas previstas?	
	São necessárias medidas proteção contra o deslizamento?	
	São necessárias medidas contra a ação do vento (especialmente em coberturas de edifícios altos e/ou expostas ao vento)?	
Segurança e utilização	Como será efetuado o acesso à cobertura?	
	São necessárias medidas de proteção contra quedas?	
	São necessárias medidas de proteção contra a propagação de incêndio?	
Isolamento térmico	Está conforme os regulamentos vigentes?	
	É necessário colocar isolamento térmico adicional?	
Estanquidade	Inspeções e ensaios de deteção de fugas?	
	É necessária a reparação ou a substituição da impermeabilização existente? A impermeabilização existente pode acomodar a solução construtiva sem necessidade de nova impermeabilização?	
	A solução construtiva precisa de uma barreira de raízes adicional? Ou será a membrana de impermeabilização a cumprir esta função?	
	A solução construtiva precisa de camada de proteção?	
	Os rebordos têm as alturas necessárias?	
Gestão das águas pluviais	Os pontos de escoamento são suficientes?	
	Quais as dimensões necessárias para as margens de segurança?	
Desempenho da vegetação	São necessárias pendentes, como proteção contra o empoçamento (especialmente coberturas extensivas?	
	É necessária a instalação de pontos de abastecimento de água?	
Equipamentos mecânicos	É necessário re-localizar os equipamentos mecânicos?	
Qualidade e manutenção	Necessidade de programar as atividades de manutenção?	
	Os custos de manutenção devem ser considerados numa análise de custo do ciclo de vida?	

4.3. Edifício de habitação coletiva "Torre Verde", Lisboa

A Torre Verde, da autoria da empresa Tirone Nunes, SA., sob coordenação da arquiteta Livia Tirone e do engenheiro Ken Nunes, é um edifício de habitação coletiva com projeto estruturado pelos princípios bioclimáticos. Concluída em 1998, tem um conjunto de 41 apartamentos distribuídos por 12 pisos e mais 2 pisos (0 e -1) de estacionamento. Usufrui de uma área ajardinada (localizada no embasamento) e um terraço comum e área ajardinada (localizados no 10º piso) identificadas na Fig. 4.3.1. Este edifício está inserido no plano do Parque das Nações (Zona Norte), numa zona urbana de média/baixa densidade e como ambiente exterior tem uma forte influência do estuário do Tejo (Alcoforado et al, 2006).

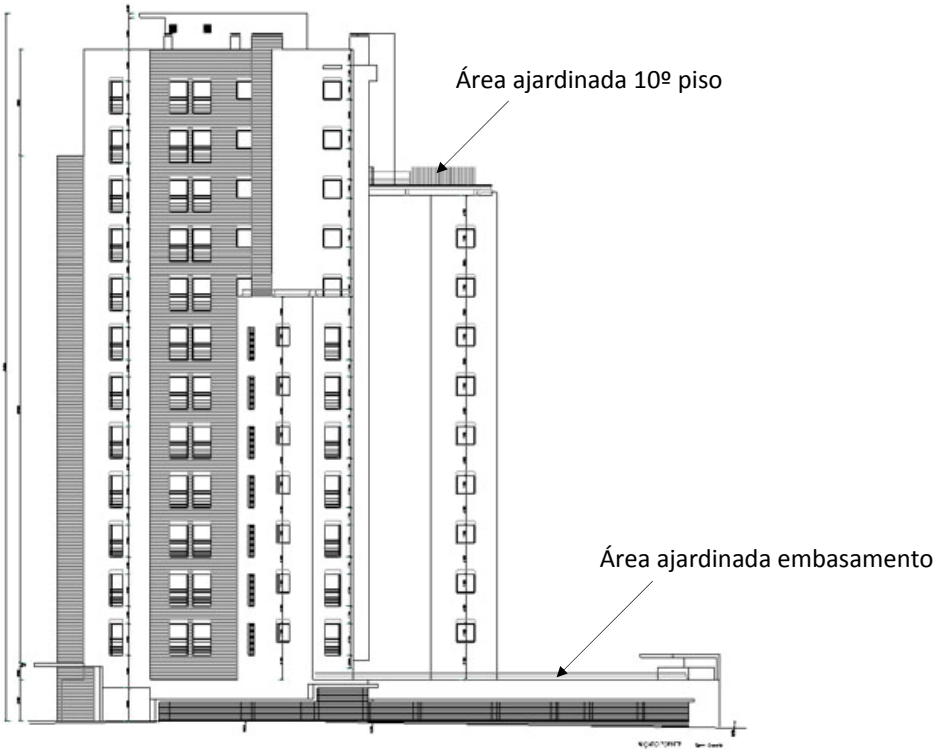


Fig. 4.3.1 – Alçado poente (Fonte: © Tirone Nunes, 2013).

- **Verificação e inspeção das coberturas verdes**

Os dados recolhidos para a verificação e inspeção a este caso de estudo foram obtidos através da visita ao local e de informação prestada pelos autores/coordenadores do projeto. Desta forma, e de acordo com a Ficha 2, elaborada para esta análise, as coberturas verdes existentes na "Torre Verde" consideram-se coberturas planas acessíveis às pessoas e com a intenção principal de servir como espaços de lazer e usufruto dos habitantes dos diferentes apartamentos, por forma a fomentar a interação entre eles.

Relativamente às características das coberturas e o seu impacto nas soluções de cobertura verde encontradas, tanto a área verde do embasamento como as localizadas no 10º piso, têm uma pendente máxima de 2%. A área verde do embasamento tem cerca de 530 m^2 e está situada a uma altura ao solo de 3,0 m (Fig. 4.3.2). As

áreas verdes no 10º piso, têm 50 m^2 cada e estão situadas a 37 m de altura m^2 (Fig. 4.3.2). Quanto à exposição solar, qualquer uma delas apresenta uma exposição Sul, estando protegidas dos ventos dominantes quer pelo próprio edifício quer pela introdução de platibandas, que simultaneamente funcionam como guarda fogos e proteção contra quedas.

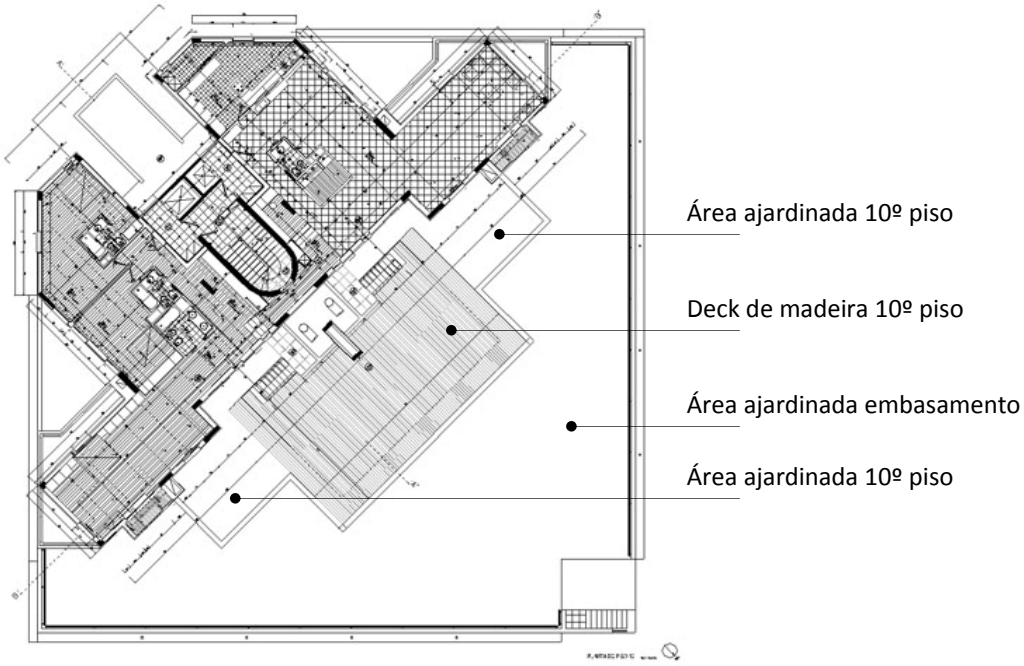


Fig. 4.3.2 – Planta do Piso 12 – identificação das áreas verdes (Fonte: © Tirone Nunes, 2013).

A estabilidade das soluções construtivas de cobertura verde está assegurada quer ao nível das cargas verticais, quer na estabilidade da inclinação e ao vento. O edifício é de betão armado recente (Cóias, 2006) construído segundo os regulamentos vigentes, contabilizando nos cálculos estruturais as cargas exercidas pelos revestimentos vegetais. Quanto à estabilidade da inclinação, como a pendente máxima é de apenas 2%, conseguida pela camada de forma em betão leve, não foram necessárias tomar medidas adicionais de proteção contra o deslizamento. Em relação à estabilidade ao vento, a geometria do edifício e as platibandas são as únicas medidas consideradas.

O acesso a estes espaços verdes está limitado aos utilizadores do edifício e é realizado a partir das áreas comuns do mesmo. Em relação às medidas de segurança, foram previstas guardas e platibandas, como medidas de proteção contra quedas, e como medidas de segurança contra incêndio foram previstos meios de combate a incêndios, de acordo com os regulamentos obrigatórios.

Quanto à solução de isolamento térmico e impermeabilização destas coberturas, foi executada uma solução de cobertura invertida. A camada de isolamento térmico foi realizada com placas de poliestireno extrudido (XPS) com 10 cm de espessura. A impermeabilização foi realizada com um sistema de múltiplas camadas de base

betuminosa com tratamento contra a raízes em toda a superfície horizontal e subindo a uma altura de pelo menos 30 cm nos pontos singulares, de encontro com as platibandas e com as paredes perimetrais. Foram também utilizados geotêxteis de 150 g/m^2 como camada de separação entre as membranas de impermeabilização e o material de isolamento térmico. A proteção do sistema de impermeabilização é realizado nas zonas horizontais pelas placas de XPS, e nos pontos singulares por telas drenantes (Fig. 4.3.3) e pelo próprio sistema de isolamento térmico pelo exterior que reveste o edifício. À data da construção, o sistema de impermeabilização foi submetido a ensaios de estanquidade e deteção de fugas para prevenir infiltrações posteriores. No momento da visita, não foi possível avaliar o estado de conservação do sistema de impermeabilização, nem detetar anomalias nos tetos dos pisos inferiores.

Fig. 4.3.3 – Tela drenante de proteção do sistema de impermeabilização.

Fig. 4.3.4 – Aspeto geral do tipo de vegetação

Em relação à gestão das águas pluviais, foi projetado um sistema de drenagem dimensionado de acordo com os regulamentos obrigatórios. Apesar do cumprimento desses regulamentos, as saídas e pontos de escoamento não estão visíveis, não sendo por isso possível avaliar o seu estado de conservação.

Relativamente ao tipo de cobertura verde instalada considera-se do tipo intensiva. A solução construtiva foi aplicada *in situ* e é de camada única, ou seja, o substrato de crescimento assume as funções de filtro e de drenagem/aeração. Para facilitar a drenagem do substrato foi colocado um geodreno periférico. O substrato tem uma profundidade variável, entre 150 a 800 mm, não sendo conhecidos dados sobre o seu peso de saturação e em estado seco, taxa de retenção, coeficiente de drenagem e capacidade de acumulação de água. A vegetação utilizada é autóctone do clima mediterrânico, composta por arbustos, gramíneas e herbáceas, e apresenta um bom estado de conservação (Fig. 4.3.4).

Esta solução construtiva de revestimento de cobertura verde foi executada por diversas empresas, contratadas para a execução de cada empreitada, às quais forneceram a garantia de qualidade do trabalho efetuado por um período de 5 anos. Neste momento, a manutenção é realizada de forma re-ativa, não existindo um plano de manutenção. Apesar disso a irrigação é assegurada por um sistema manual e por um sistema automático, que funciona, principalmente, nos períodos de stress hídrico (Fig. 4.3.5).

Fig. 4.3.5 – Sistema de rega automática.

Fig. 4.3.6 – Depósito de água sob a estrutura do deck de madeira

Finalmente, deve ser referido que as coberturas verdes no 10º piso se interligam através de um deck de madeira, permitindo a permanência dos utilizadores. Em conjunto, as duas coberturas verdes e o deck de madeira, ocultam a presença de 2 acumuladores de água quente (de 4000 L e 4500 L, na Fig. 4.3.6) e a caldeira do sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias de todo o edifício (apoiados pelos painéis solares na cobertura do edifício). Sem grandes preocupações estéticas, estes espaços exteriores representam uma ética do cuidado e de sustentabilidade, no sentido de melhorar a eficiência energética do edifício e, simultaneamente, na procura da identidade cultural da vida em comunidade e do bem-estar psicológico das pessoas que aqui habitam.

4.4. Conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha, Lisboa

O conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha, em Alvalade, Lisboa, constitui a primeira intervenção modernista no Bairro de Alvalade (Costa, 2002). O projeto data de 1949 e é da autoria do Arquiteto Joaquim Ferreira. São 20 blocos residenciais dispostos perpendicularmente à avenida com 16 apartamentos cada um, num total de 4 apartamentos por piso, em 4 pisos (Costa, 2002). Segundo a memória descritiva do projeto, é um edifício de betão armado com paredes duplas de tijolo e caixa de ar nas fachadas e uma cobertura mista, parte em telha e parte em terraço acessível. Estes edifícios estão inseridos numa zona urbana de média densidade sob influência do Planalto do Norte de Lisboa (ver Anexo 5), com uma redução moderada da velocidade média do vento e comportamento térmico variável ou ilha de calor moderada (Alcoforado et al, 2006).

- **Caracterização das coberturas planas existentes**

Os dados recolhidos para a caracterização destes casos de estudo foram obtidos através de visitas aos vários edifícios que integram este conjunto habitacional e de informação recolhida no Arquivo Municipal de Lisboa, Núcleo Intermédio, da Câmara Municipal de Lisboa, tais como os desenhos que se apresentam nas (Fig. 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3). Deste modo e de acordo com a Ficha 3, de caracterização de coberturas existentes proposta, as

coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha consideram-se coberturas acessíveis às pessoas e com a intenção principal de servir como espaços comunitários de utilidade, por exemplo para estender a roupa dos inquilinos.

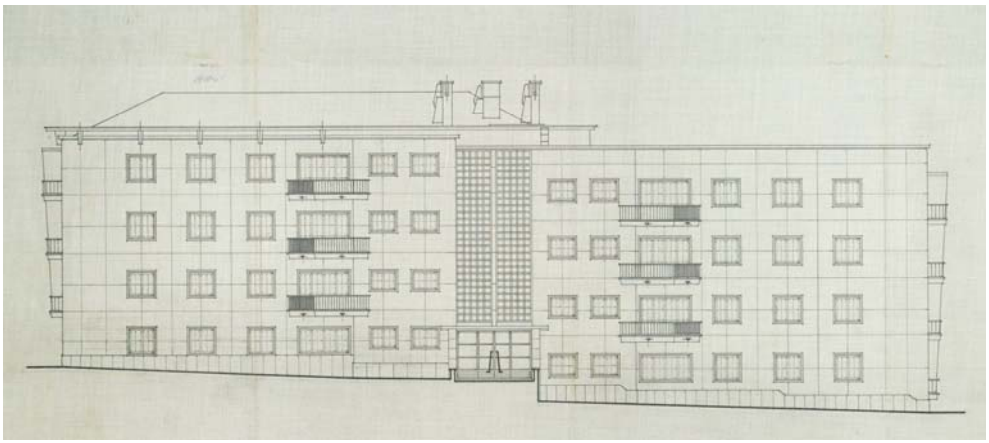


Fig. 4.4.1 – Alçado (Fonte: Arquivo Municipal de Lisboa, 2013).

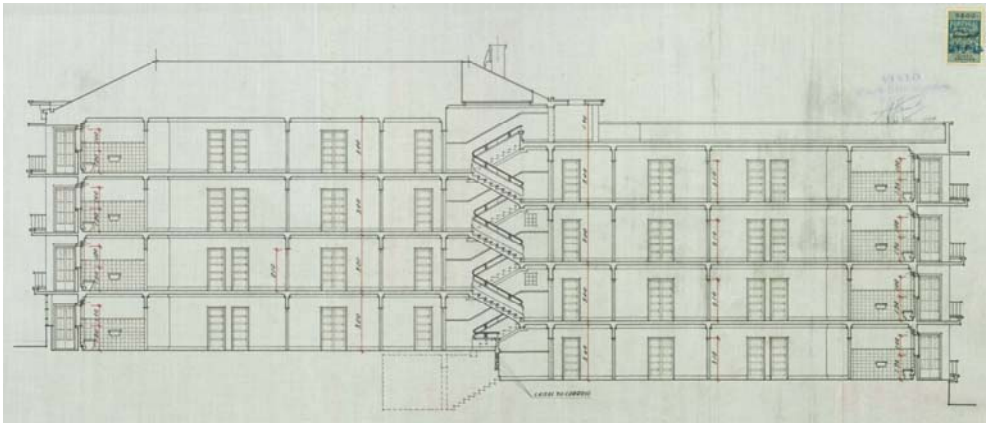


Fig. 4.4.2 – Corte longitudinal (Fonte: Arquivo Municipal de Lisboa, 2013).

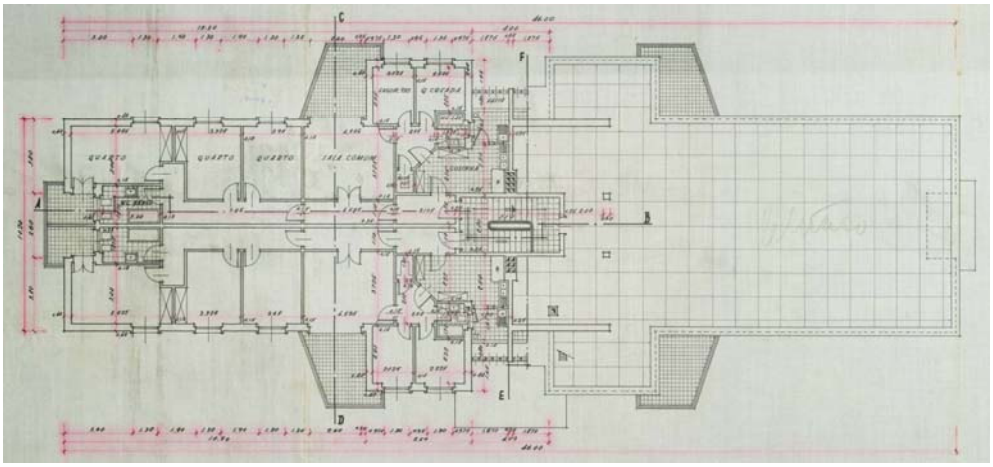


Fig. 4.4.3 – Planta do último piso e terraço acessível (Fonte: Arquivo Municipal de Lisboa, 2013).

Relativamente às suas características, ocupam uma área de cerca de 260 m^2, estão localizadas sensivelmente a 12 m de altura ao solo e têm uma pendente máxima de 2%. Quanto à exposição solar, apresentam uma exposição predominante a Sul, estando protegidas dos ventos quer pelo próprio edifício quer pela introdução de platibandas, que simultaneamente funcionam como guarda fogos e proteção contra quedas. O acesso a estes espaços está limitado aos utilizadores do edifício e é realizado a partir das áreas comuns do mesmo. Em relação às medidas de segurança contra incêndio, não estão contemplados quaisquer tipo de meios de combate a incêndios.

Segundo a memória descritiva do projeto, a estrutura do terraço acessível é uma laje aligeirada constituída por vigotas de betão armado e abobadilhas de tijolo com 12 cm de altura e com 3 cm de camada de compressão em betão armado. Como se tratava de um terraço acessível, foram calculadas sobrecargas de 250 kg/m^2, para além das cargas permanentes de 180 kg/m^2.

Quanto ao revestimento destas coberturas, apenas foi previsto um revestimento betuminoso como membrana de impermeabilização sem qualquer tipo de proteção mecânica ou isolamento térmico. Em relação ao número de saídas de escoamento das águas pluviais, foram previstas 4 saídas, uma por cada extremidade. Na Fig. 4.4.4 apresentam-se duas delas, junto à fachada da Avenida D. Rodrigo da Cunha.

Fig. 4.4.4 – Saídas de escoamento junto à fachada Sul e estruturas dos antigos estendais.

Segundo os registos da Câmara Municipal de Lisboa, estes edifícios foram sendo alvo ao longo dos anos de obras de beneficência, sendo que as principais anomalias documentadas ocorreram precisamente nas coberturas planas. Na laje de estrutura do terraço ocorreram consecutivamente fendilhações (Fig. 4.4.5) que provocaram infiltrações e humidades nos apartamentos subjacentes, possivelmente devido à forte exposição às amplitudes térmicas que se podem sentir nestes elementos construtivos, que deterioram tanto as membranas de impermeabilização como as próprias lajes estruturais (Fig. 4.4.6 e 4.4.7). Outra possível causa para as infiltrações poderá ter sido devido aos danos provocados pelo próprio uso. Estes sistemas de impermeabilização não estavam preparados para se poder caminhar sobre eles.

Fig. 4.4.5 – Fissuração da membrana líquida recentemente colocada.

Fig. 4.4.6 – Estado de conservação da membrana betuminosa original.

Fig. 4.4.7 – Deteriorização da impermeabilização original.

Atualmente, devido a estes problemas de infiltrações e deficiente estanquidade, algumas das coberturas planas deste conjunto habitacional apresentam modificações com a introdução de sistemas de coberturas inclinadas com chapas de fibrocimento (Fig. 4.4.8 e 4.4.9). Outras foram reparadas com um sistema de cobertura invertida e revestimento final em betonilha (membrana de impermeabilização betuminosa; placa de isolamento térmico XPS de 4 cm de espessura e betonilha de 4 cm, Fig. 4.4.10). Noutras, o acesso às coberturas foi restringido, sendo que apenas se procedeu à reparação/substituição do revestimento de impermeabilização através de novas membranas betuminosas com proteção em granulado de ardósia (Fig. 4.4.11) e/ou folha de alumínio e ou através de membranas líquidas (Fig. 4.4.4 e 4.4.5).

Fig. 4.4.8 – Cobertura inclinada em chapa de fibrocimento e impermeabilização betuminosa recente.

Fig. 4.4.9 – Cobertura inclinada em chapa de fibrocimento.

Fig. 4.4.10 – Sistema de cobertura invertida com proteção em final em betonilha.

Fig. 4.4.11 – Impermeabilização betuminosa recente.

4.5. Recomendações

4.5.1. Coberturas verdes da "Torre Verde"

Na análise efetuada às coberturas de revestimento vegetal da "Torre Verde", verifica-se que a vegetação e os substratos de crescimento apresentam um bom estado de conservação. Contudo é ao nível das medidas de manutenção pró-ativa que se poderão incidir as principais recomendações, principalmente no que se referem à manutenção e inspeção do sistemas de impermeabilização e de drenagem pluvial.

Recomenda-se desta forma, e de acordo com o Manual de Boas Práticas apresentado no capítulo 3, a introdução de margens de segurança ao longo do perímetro do substrato, junto de platibandas e paredes perimetrais. Para além das funções de proteção contra os efeitos da ação do vento e de segurança contra incêndios, servem também para promover a drenagem pluvial, a proteção contra salpicos e o acesso para inspeção, manutenção e reparação do sistema de impermeabilização.

No caso das funções de proteção contra os efeitos da ação do vento e de segurança contra incêndios, não serão necessárias nestas coberturas visto a ação do vento estar salvaguardada, tal como se referiu anteriormente. Quanto às medidas de segurança à propagação dos incêndios, como se trata de um revestimento de vegetação do tipo intensivo, por ser irrigado, ter uma manutenção regular e uma camada de substrato espessa, não assume um potencial risco de incêndio, podendo ser considerado como resistente ao fogo.

As margens de segurança não plantadas que se recomendam têm como principal finalidade obter uma solução mais duradoura, tanto ao nível do desempenho da própria solução de revestimento vegetal, como na prevenção de anomalias nos restantes elementos construtivos, paredes e revestimentos perimetrais, estrutura de suporte, sistema de impermeabilização e de drenagem (Fig. 4.5.1 e 4.5.2). Estas margens de segurança podem ser conseguidas através da introdução de faixas de agregados de pedra (gravilha, seixos ou cascalho), separadas do substrato de crescimento através de feltros geotêxteis, numa distância mínima de 25 cm, junto às platibandas, e 50 cm, junto às paredes de fachada.

Fig. 4.5.1 – Deteriorização dos revestimentos da paredes perimetrais.

Fig. 4.5.2 – Necessidade de proteção contra salpicos.

Quanto à impermeabilização dos pontos singulares acima do substrato de crescimento, de acordo com o descrito na caracterização, está salvaguardada, visto ter-se previsto a impermeabilização no mínimo até 30 cm acima do substrato. No Manual de Boas Práticas exige-se uma altura ≥ 15 cm para coberturas até 5°. Contudo, a solução encontrada de proteção das membranas de impermeabilização com os revestimentos de fachada não facilita a sua verificação e inspeção para avaliar o estado de conservação. Por outro lado, o contato destes revestimentos com os substratos expõe estes mesmos revestimentos às humidades e salpicos. A medida recomendada para esta situação seria a de introduzir uma separação entre os revestimentos de fachada e as margens de segurança, no mínimo com 15 cm de altura, salvaguardando a proteção total do sistema de impermeabilização contra a exposição aos efeitos de stress climático e aos raios UV, através da colocação de um forro de material de proteção mecânica e/ou de um rufo metálico.

Relativamente ao sistema de drenagem pluvial em coberturas verdes, a sua correta manutenção é fundamental para o bom desempenho destas soluções construtivas. No caso dos revestimentos vegetais da "Torre Verde", as saídas de escoamento não estão visíveis o que impossibilita a sua verificação e avaliação do estado de conservação. Segundo o Manual de Boas Práticas, recomenda-se por questões de segurança que as saídas de escoamento e os pontos de drenagem de segurança devam ser mantidos livres de substrato e de vegetação, a fim de permitir a livre circulação da água, e deverão ser de fácil verificação visual e inspeção em todos os momentos. Recomenda-se desta forma a colocação de câmaras de inspeção sobre as saídas de escoamento, que impeçam a proliferação da vegetação e simultaneamente permitam a passagem da água, ou que sejam protegidas com agregados de pedra, por forma a manter o afastamento mínimo de 25 cm como margem de segurança à proliferação da vegetação. Deverão estar ainda protegidas com filtros concebidos para o tamanho do material circundante. Em áreas pavimentadas, devem estar protegidas com câmaras de inspeção com uma tampa de acordo com o pavimento.

Por fim, recomenda-se que seja implementado um plano de manutenção em serviço que corresponda à execução de todas as medidas necessárias para que desempenhe as funções para as quais foi concebida. As soluções de coberturas verdes requerem, como critério fundamental, que as atividades de manutenção sejam programadas de modo a tornar eficaz a sua operação e a otimizar custos. Como se tratam de coberturas verdes do tipo intensivo sem grandes necessidades estéticas, as atividades de manutenção podem decorrer entre 2 a 12 vezes por ano. Para além dos cuidados de manutenção com revestimento vegetal, as coberturas verdes devem estar sujeitas a ações de manutenção dos restantes elementos do sistema construtivo. Nestes casos deverá proceder-se a um planeamento das ações de manutenção pró-ativas para os diversos elementos, englobando as medidas preditivas (inspeções) e preventivas (limpeza, intervenções ligeiras e intervenções profundas), e respetiva calendarização, tendo em consideração as diferentes vidas úteis e materiais passíveis de serem aplicados. O planeamento das atividades de manutenção torna-se fundamental afim de diminuir os encargos e minimizar os riscos de danos na solução construtiva. De acordo com o Manual de Boas Práticas, o plano a implementar deve servir para:

a) Assegurar a informação necessária aos operários, que estejam a realizar as atividades de manutenção;
b) Ajudar a selecionar as ferramentas por forma a não interferirem ou danificarem nenhum dos elementos abaixo do substrato;
c) Programar as atividades a fim de minimizar a quantidade de tráfego sobre o revestimento vegetal.

4.5.2 Coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha.

Na análise da viabilidade de implementação de um sistema de cobertura verde nas coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha define-se como principal objetivo a colocação de um revestimento vegetal de proteção às membranas de impermeabilização, sem implicar reforços estruturais, para a criação de um espaço de lazer e usufruto dos habitantes de cada um destes edifícios. Quanto ao tipo de solução construtiva a propor, estará condicionada por estes objetivos, sendo que à partida a solução a encontrar será restringida ao tipo extensivo, menos exigente no que se refere às cargas impostas na estrutura de suporte e ao grau de manutenção.

Quanto à estabilidade da solução construtiva a propor, o aspeto mais importante a resolver diz respeito à capacidade de resistir ao conjunto de cargas permanentes e de sobrecargas previstas. Neste ponto é fundamental que o projeto seja apoiado por um especialista em cálculo estrutural de modo a balizar o espectro de opções, que como já se referiu será restringido às soluções do tipo extensivo. Por outro lado será necessário perceber se existem zonas da cobertura com maior capacidade de carga, o que permitirá aumentar as possibilidades de projeto. No presente caso de estudo, de acordo com o descrito na memória descritiva do projeto, a laje de cobertura foi calculada com base numa sobrecarga de 250 kg/m^2. À primeira vista, através de um exercício teórico, poderemos ter em consideração o seguinte:

a) A sobrecarga regulamentar para terraços acessíveis, à luz do regulamento atual, é de 200 kg/m^2, o que pode permitir ter uma margem de trabalho para propor uma solução com cerca de 50 kg/m^2, como peso máximo de saturação, tal como a que se apresenta na Fig. 4.5.3;
b) A sobrecarga regulamentar para terraços não acessíveis, à luz do regulamento atual, é de 100 kg/m^2, o que pode permitir ter uma margem de trabalho para propor uma solução com cerca de 150 kg/m^2, como peso máximo de saturação , tal como a que se apresenta na Fig. 4.5.4.

É apenas um exercício teórico que serve de ponto de partida. Um estudo mais aprofundado deverá ser realizado por um engenheiro de estruturas para avaliar as cargas permanentes e sobrecargas passíveis de serem suportadas por estas estruturas. Em relação ao referido na alínea a), na verdade, muitas das adaptações de coberturas existentes descritas na literatura partem deste pressuposto, de que muitas vezes os edifícios mais antigos estão sobredimensionados à luz dos regulamentos atuais permitindo suportar coberturas verdes ligeiras. Relativamente ao segundo aspeto, referido na alínea b), a maior parte dos sistemas de coberturas verdes são vistos como revestimentos cujo acesso deverá ser limitado à manutenção. São muito sensíveis a utilizações intensas, à exceção dos sistemas projetados para esse grau de utilização e manutenção. Este facto pode permitir aumentar as possibilidades da solução a propor e como tal deve fazer parte das opções a considerar em projeto.

Fig. 4.5.3 – Solução extensiva com 5,5 cm de altura com cerca de 50 kg/m^2 de peso de saturação e 26 l/m^2 de capacidade de acumulação de água da Xeroflor®.
(Fonte: Cristal de Água, 2013)

Fig. 4.5.4 – Solução extensiva com 13 cm de altura com cerca de 150 kg/m^2 de peso de saturação e 45 l/m^2 de capacidade de acumulação de água da ZinCo®.
(Fonte: ZinCo® 1, 2013)

Outro aspeto importante para estabilidade da solução construtiva a propor diz respeito à possibilidade de deslizamento. Neste caso de estudo, verifica-se que não serão necessários quaisquer tipo de medidas de proteção contra o deslizamento, visto a pendente máxima ser de 2%. Em relação às medidas de proteção contra a ação do vento, as platibandas/guarda fogos em redor da cobertura funcionam como barreiras de proteção. De referir apenas que o peso, em estado seco, da solução construtiva deve oferecer uma carga mínima na zona central do revestimento vegetal de modo a prevenir possíveis empolamentos. Este aspeto torna-se especialmente relevante quando a solução de revestimento vegetal a propor seja colocada sobre uma cobertura invertida e/ou as membranas de impermeabilização/barreiras de raízes não sejam fixas à laje de cobertura.

No caso do acesso à cobertura, considera-se que os edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha permitem o acesso necessário para a uso, instalação e manutenção do novo espaço de usufruto e lazer. As medidas de segurança contra quedas estão salvaguardadas pelas platibandas/guarda fogos. Quanto às medidas de proteção contra a propagação de incêndios, como a solução a propor será restringida às soluções do tipo extensiva, deverão ser tomadas em consideração as recomendações do Manual de Boas Práticas (ver capítulo 3.3.3.3.), nomeadamente: a utilização de vegetação de porte baixo; a quantidade de matéria orgânica (20%) e a espessura (≥ 3 cm) da camada de substrato; e a necessidade de dispor de margens de segurança junto de portas e janelas existentes, visto não serem necessárias nem no perímetro (as platibandas/guarda fogos servem de proteção) nem como aceiros corta-fogo (a maior distância é de apenas 20 m, no sentido longitudinal).

Quanto ao isolamento térmico, como não foi originalmente previsto, a solução construtiva deverá fornecer esta componente na perspetiva de melhorar a eficiência energética dos próprios edifícios e o conforto térmico dos habitantes residentes nos apartamentos subjacentes. Para além das questões de eficiência energética e conforto ambiental, em conjunto com o novo revestimento vegetal, deverão fornecer a proteção necessária às amplitudes térmicas a que estão expostas as membranas de impermeabilização e as lajes de cobertura, e desta forma resolver um dos focos de ocorrência das frequentes anomalias descritas no capítulo 4.4.1. Todavia a

nova camada de isolamento térmico deverá ser vista caso a caso e em conjunto com solução de reparação e/ou substituição do sistema de impermeabilização a fim de definir se a aplicação é realizada em cobertura tradicional ou invertida.

O tipo e o estado de conservação do sistema de impermeabilização é outro dos fatores condicionantes de toda a operação. Em primeiro lugar deverá ser efetuado um ensaio de deteção de fugas para avaliar a sua estanquidade. Caso existam problemas deverá prever-se uma operação de reparação ou de substituição total, a fim de garantir que todo o sistema é 100% estanque, prevenindo custos adicionais à posteriori. Por sua vez, o tipo de operação a realizar condiciona a seleção do material para a camada de isolamento térmico e a sua forma de aplicação em relação à membrana de impermeabilização. Num sistema em cobertura invertida o material de isolamento térmico não poderá ser sensível à água. No caso de um sistema em cobertura tradicional esta questão não se coloca.

A barreira de raízes é outro dos aspetos importantes para a manutenção da estanquidade em sistemas de cobertura verde. Esta proteção poderá ser assegurada por um tipo de membrana de impermeabilização que incorpore esta propriedade, ou no caso de se manter as membranas existentes é conveniente que seja aplicada sobre elas uma tela de barreira de raízes compatível. De referir ainda que todo este sistema de impermeabilização (membrana de impermeabilização e barreira de raízes) deverá ser protegido contra os danos causados pelas atividades de manutenção. Por exemplo, segundo o Manual de Boas Práticas, um feltro geotêxtil com uma densidade mínima de 300g/m^2 e 2mm de espessura será suficiente.

A barreira de raízes e a proteção mecânica devem acompanhar o revestimento impermeabilizante na resolução dos pontos singulares, tal como se descreve no capítulo 3.3.5.4. do Manual de Boas Práticas, nomeadamente: no encontro com as paredes perimetrais e de fachada, a uma altura ≥ 15 cm, salvaguardando uma proteção contra a exposição aos efeitos de stress climático e aos raios UV, através da colocação de um forro de material de proteção mecânica ou de um rufo metálico; e nas soleiras, onde o remate das membranas de impermeabilização pode ser reduzido para uma altura ≥ 5 cm, sempre quando se garanta o rápido e completo escoamento junto das mesmas.

Por forma a obter uma solução mais duradoura, de fácil verificação e inspeção durante as atividades de manutenção, devem ainda estar contempladas as devidas margens de segurança não plantadas, de agregados de pedra (gravilha, seixos ou cascalho) ou de lajetas de pavimentação, com a mesma profundidade da camada de substrato de crescimento, salvaguardando as distâncias mínimas determinadas pela proteção contra os efeitos da ação do vento e de segurança contra incêndios e de modo a permitir uma drenagem eficiente.

Para além da capacidade de carga da estrutura e do tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização, outro dos fatores importantes a considerar e que condicionam uma operação de implementação de um revestimento vegetal numa cobertura existente é a sua capacidade de escoamento das

águas pluviais. É fundamental para o bom desempenho das coberturas verdes que toda a água em excesso seja drenada de forma rápida e completa, prevenindo a estagnação hídrica nos substratos e as sobrecargas não previstas que possam resultar.

No presente caso de estudo verifica-se que as coberturas apresentam um número suficiente de saídas de escoamento. Apenas se deverão salvaguardar as margens de segurança não plantadas que se recomendam no Manual de Boas Práticas, de modo a permitir uma drenagem eficiente. Estas margens de segurança podem ser conseguidas através da introdução de faixas de agregados de pedra (gravilha, seixos ou cascalho), separadas do substrato de crescimento através de feltros geotêxteis, numa distância mínima de 25 cm, junto às platibandas, e 50 cm, junto às paredes de fachada. Por questões de segurança, as saídas de escoamento devem também ser mantidas livres de substrato e de vegetação, a fim de permitir a livre circulação da água e a fácil verificação visual e inspeção em todos os momentos. Recomenda-se desta forma a colocação de câmaras de inspeção sobre as saídas de escoamento, que impeçam a proliferação da vegetação e simultaneamente, permitam a passagem da água, ou que sejam protegidas com agregados de pedra, por forma a manter o afastamento mínimo de 50 cm como margem de segurança à proliferação da vegetação. Deverão estar ainda protegidas com filtros concebidos para o tamanho do material circundante. Em áreas pavimentadas, devem estar protegidas com câmaras de inspeção com uma tampa de acordo com o pavimento.

Estas margens de segurança permitem obter uma solução mais duradoura, tanto ao nível do desempenho da própria solução de revestimento vegetal, bem como na prevenção de anomalias nos restantes elementos construtivos, paredes e revestimentos perimetrais, estrutura de suporte e sistema de impermeabilização.

Quanto ao desempenho da vegetação, as pendentes existentes neste caso de estudo são as suficientes sem que sejam necessárias medidas de proteção ao empoçamento. Como se trata de um revestimento vegetal com um substrato relativamente fino, será necessário que existam pontos de abastecimento de água na cobertura, por forma a facilitar a sua irrigação, quer seja efetuada manualmente ou automaticamente. Todavia, é necessário ter em conta que, para os sistemas de cobertura verde serem bem sucedidos, o planeamento e a seleção dos substratos de crescimento, das plantas e dos sistemas de irrigação devem ser elaborados em conjunto. Por exemplo, os substratos devem ter uma composição que forneça, entre outras propriedades: uma boa ancoragem das raízes; uma equilibrada relação água-ar, quando saturados, para evitar que as raízes deixem de respirar; resistência à compactação para evitar a saturação e problemas de drenagem; e uma oferta adequada de nutrientes para permitir o desenvolvimento conforme as necessidades das plantas. Por outro lado, a seleção das plantas está condicionada pela profundidade, composição e capacidade de acumulação de água dos substratos e/ou camada drenante, mas sobretudo deverão ser resistentes condições climáticas extremas como períodos de seca prolongados, altas temperaturas e vento. Para os objetivos propostos para esta operação e como se trata de um revestimento do tipo extensivo, recomenda-se que a vegetação deve ser:

a) Ser naturalizada, adaptada ou endémica;
b) Cobrir e ancorar a superfície do substrato dentro de um prazo razoável após a plantação;

c) Ter capacidade de renovação, autossemeando-se ou autoregenerando-se, utilizando espécies vegetais com ciclos de vida longos, sobretudo variedades perenes, anuais e bienais;
d) Evaporar os volumes de água previstos para manter o balanço hídrico da solução construtiva;
e) Sobreviver às condições climáticas adversas, em particular ao frio e à seca.

Por vezes esta informação pode ser facultada por empresas fornecedoras de sistemas estandardizados. Os seus sistemas foram previamente estudados para determinados níveis de desempenho, como diferentes taxas de retenção e capacidade de acumulação de água, pesos em estado seco e de saturação, espessuras de substrato, seleção de plantas e necessidades de irrigação, permitindo assim eleger a solução que melhor se adapta aos objetivos propostos. Contudo, e principalmente quando se trata de uma adaptação de uma cobertura existente, nem sempre fornecem a solução mais otimizada. Nesta fase, tendo em vista a obtenção de uma solução construtiva com o melhor desempenho possível, é fundamental que o projeto seja apoiado por um especialista da área paisagista de modo a fornecer os dados necessários para correta seleção destes componentes da solução construtiva a propor.

Por fim recomenda-se que se execute um plano de manutenção de forma a programar as diferentes atividades de manutenção a efetuar durante a vida útil do revestimento vegetal. Como a manutenção em coberturas verdes é vista como uma das maiores barreiras para a sua instalação, a sua programação é um critério fundamental para a sua viabilidade durante a fase de projeto. Aqui poderão ser antecipadas as atividades necessárias por forma a tornar mais eficaz a sua operação e a optimizar custos. Por sua vez, estes custos de manutenção devem fazer parte da análise de custo do ciclo de vida do edifício, permitindo uma especificação mais adequada da solução de cobertura verde a ser executada.

Os planos de manutenção deverão estar focados, em primeiro lugar, nas necessidades da cobertura verde durante os primeiros dois a quatro anos, e em segundo lugar, numa perspetiva de manutenção contínua, devendo abordar os seguintes assuntos:

a) Medidas de proteção contra os danos provocados durante a utilização;
b) Quantidade, periodicidade e controlo da irrigação;
c) Quantidade, tipo e periodicidade de aplicação de fertilizantes;
d) Frequência de remoção de ervas daninhas;
e) Necessidades de replantação (caso seja necessário);
f) Inspeção periódica dos sistemas de impermeabilização e de drenagem, principalmente nos pontos singulares e margens de segurança não plantadas;
g) A atribuição de responsabilidade para a manutenção, remoção e reinstalação do substrato e da vegetação (no caso de existirem obras de reparação da cobertura).

Para o presente caso de estudo, tratando-se de uma cobertura verde do tipo extensiva, serão apenas necessárias realizar atividades de manutenção entre 2 a 4 vezes por ano (e entre 1 a 2 inspecções visuais por ano, para definir os trabalhos a efetuar).

4.6. Considerações finais

A análise dos casos de estudo apresentados neste capítulo visa realizar de uma forma sistemática a aplicabilidade do Manual de Boas Práticas desenvolvido no Capítulo 3. Com a seleção dos casos de estudo, coberturas verdes da "Torre Verde" e coberturas planas dos edifícios da Av. D. Rodrigo da Cunha, procurou-se ampliar o estudo e o âmbito de aplicação da tecnologia em ambientes urbanos construídos e obter uma perspetiva abrangente das suas possibilidades e potencialidades.

A metodologia proposta para a análise dos casos apresentados pretende servir de instrumento de clarificação dos requisitos e das especificações necessários ter em consideração sobre a tecnologia de coberturas verdes quando aplicadas a situações semelhantes. Numa perspetiva de otimização dos processos de conceção, instalação e manutenção, as fichas de caracterização e verificação desenvolvidas servem de base à coordenação de informação entre as diversas disciplinas, entidades e consultores, que podem ser envolvidos de forma a ser possível inferir o tipo e a quantidade de trabalhos necessários a ser previstos.

Em relação às coberturas verdes da "Torre Verde" constatou-se que o sistema instalado do tipo intensivo apresenta um bom estado de conservação. Todavia, à luz do especificado no Manual de Boas Práticas, poderão ser recomendadas alterações tendo em vista uma solução mais duradoura e fácil de manter. São sobretudo medidas ao nível da manutenção pró-ativa, principalmente no que se referem à manutenção e inspeção do sistema de impermeabilização e de drenagem pluvial, através da introdução de margens de segurança não plantadas, que simultaneamente servem de proteção dos revestimentos das paredes perimetrais contra salpicos. A elaboração de um plano de manutenção em serviço, que corresponda à execução de todas as medidas necessárias para que desempenhe as funções para as quais foi concebida, é outra das recomendações importantes a implementar, a fim de diminuir os encargos e minimizar os riscos de danos na solução construtiva.

Na análise deste caso de estudo verifica-se que a aplicação do Manual de Boas a Práticas a casos semelhantes no território português pode contribuir principalmente para a melhoria do desempenho em serviço dos sistemas de coberturas verdes instalados.

Quanto às coberturas planas do conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha constata-se que a verificação da viabilidade de implementação de coberturas verdes no topo de edifícios existentes, exige o envolvimento de uma equipa de trabalho que inter-relacione as diferentes especialidades (arquitetura, estruturas, paisagismo, etc.), donos de obra e inclusive instaladores e fornecedores de sistemas estandardizados. Só através da colaboração entre as diferentes partes envolvidas se poderão estabelecer os objetivos para cada intervenção e que determinam todas as fases posteriores, de planeamento, instalação e manutenção.

Como se tratam de coberturas existentes, a capacidade de receber um revestimento vegetal estará condicionada à partida pela capacidade de carga da estrutura, pelo tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização e pela capacidade de escoamento da cobertura.

Por se tratarem de estruturas que não estavam inicialmente pensadas para receber um revestimento vegetal, o tipo de cobertura verde a implementar será restringido ao tipo extensivo. Partindo do pressuposto que o acesso a estes revestimentos será condicionado à manutenção e através de um exercício teórico de substituição de cargas impostas (que necessita de um estudo mais aprofundado por um técnico da especialidade) constata-se que estas coberturas poderão permitir a instalação de uma solução construtiva até 150 kg/m^2 de peso de saturação. Ao comparar com as cargas impostas pelas modificações realizadas ao longo dos anos devido a problemas de infiltrações e deficiente estanquidade (sistemas de cobertura inclinada, não acessíveis, em chapas de fibrocimento e sistemas de proteção da impermeabilização em cobertura invertida com revestimento final em betonilha), verifica-se que a solução recomendada pode constituir-se como uma alternativa válida para edifícios com características semelhantes, tendo em conta que, para além de funcionarem como revestimentos de proteção aos elementos construtivos subjacentes, contribuem com um conjunto maior de benefícios para procura da sustentabilidade dos ambientes construídos.

Para além da capacidade de carga da estrutura existente, o tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização constitui-se como outro fator importante a ter em consideração logo nas primeiras fases de planeamento. Caso existam problemas deverá prever-se uma operação de reparação ou de substituição total, a fim de garantir que todo o sistema é 100% estanque, prevenindo custos adicionais à posteriori. Por sua vez, o tipo de operação a realizar condiciona a seleção do material para a camada de isolamento térmico e a sua forma de aplicação em relação à membrana de impermeabilização. Quanto à capacidade de escoamento da cobertura, verifica-se que a cobertura existente apresenta condições para o correto e eficiente desempenho da drenagem pluvial e da própria vegetação.

De acordo com o Manual de Boas Práticas podem ser apresentados ainda um conjunto de medidas de proteção, segurança e inspeção, ao nível da manutenção pró-ativa, que deverão ser previstas nas fases de planeamento de modo a obter uma solução construtiva que desempenhe corretamente as suas funções, de forma duradoura e fácil de manter, otimizando os custos em serviço.

5. CONCLUSÕES

5.1. Considerações gerais

A dissertação aborda o conceito de coberturas verdes procurando perceber o seu enquadramento no panorama das cidades atuais, clarificar os requisitos e as especificações da tecnologia e os seus benefícios para a transformação das cidades em ambientes urbanos mais sustentáveis, e perspetivar os desenvolvimentos futuros dos sistemas de cobertura verde para o aumento da qualidade de vida dos habitantes. Neste sentido, dos trabalhos efetuados destacam-se os aspetos que se apresentam em seguida.

Grant (2006), refere que as cidades ocupam apenas 2% da área terrestre do planeta, mas consumem 75% dos recursos que são consumidos pela humanidade a cada ano. Deste modo, a qualidade dos ambientes construídos e a qualidade de vida nas cidades são vistos como fatores chave em termos de conservação global. O mesmo autor, exemplifica com o caso de Londres onde se estima que a sua pegada ecológica tenha duas vezes o tamanho do Reino Unido. Este padrão de consumo é obviamente insustentável, sendo que o problema atualmente é ampliado pela perceção de que as cidades produzem gases de efeito estufa que alteram o clima global a um ritmo sem precedentes (Grant, 2006).

Para responder a esta problemática, Grant (2006) crê que o ambiente construído deve ser alterado de modo a reproduzir o ambiente natural como uma forma de restaurar os ecossistemas, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e adaptando-se às alterações climáticas. William MacDonough, com esta ideia de cidade natural em mente, constata que os projetistas em geral e os arquitetos e urbanistas em particular começaram a integrar os processos naturais no modo de vida urbano (Earth Pledge, 2005). MacDonough refere por exemplo que: os edifício e as ruas devem tirar partido de fluxos de ar de arrefecimento naturais; a energia pode ser produzida a partir de painéis solares nas coberturas e de fontes geotérmicas subterrâneas; nas hortas comunitárias, os cidadãos têm interações diárias com o solo, a água e os seres vivos; as coberturas verdes filtram as águas pluviais e minimizam o efeito de ilha de calor proporcionando habitat para plantas autóctones, pássaros e insetos. O melhor entendimento entre estas duas realidades, natural e urbana, e a forma como se podem integrar é, segundo MacDonough, o ponto de partida para a melhoria da qualidade de vida nas cidades e para a sustentabilidade dos ambientes urbanos.

As coberturas verdes são identificadas assim como elementos fundamentais para transformação das cidades em ambientes urbanos mais sustentáveis devido aos diversos contributos que advêm da sua implementação no topo dos edifícios, quer em termos económicos, ambientais ou sócio-comunitários, de entre os quais podemos enunciar: a redução do custo de aquecimento e arrefecimento dos edifícios; o aumento da eficiência dos painéis fotovoltaicos e solares térmicos; a redução do efeito de "ilha de calor" e a melhoria da qualidade do ar; a maior eficácia na gestão das águas pluviais e a melhoria da qualidade do seu tratamento; o aumento do isolamento acústico; a criação e preservação de habitats e incremento da biodiversidade ecológica; o aumento da qualidade de vida dos utentes; a potencialidade para a produção de alimentos.

MacDonough, num artigo sobre coberturas verdes como parte integrante do planeamento ecológico e do urbanismo no futuro (Earth Pledge, 2005), refere como exemplo o caso do edifício Gap Inc.'s Corporate Campus em San Bruno (Califórnia), onde a cobertura verde é um dos vários sistemas integrados em projeto para criar um ambiente de trabalho produtivo e confortável. Enquanto que os solos e as gramíneas da cobertura isolam o edifício do sol do meio-dia e do som produzido pelos aviões, em trânsito para o aeroporto nas imediações, um sistema de arrefecimento permite que a brisa noturna refrigere o edifício durante a noite. Por outro lado proporciona-se como local de paragem para as aves que passam. No mesmo artigo, o autor refere ainda o efeito da criação de hortas comunitárias nas coberturas de Nova York. A agricultura urbana em coberturas permitiria produzir alimentos de modo a ajudar a prover a subsistência alimentar, a potenciar as relações entre as pessoas e a interação humana com a natureza, com efeitos benéficos na sua saúde mental, enquanto proporciona uma redução do custo de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios (Earth Pledge, 2005).

Fig. 5.1.1 – Vista de uma das coberturas verdes do Empire State Building (Nova York), instaladas recentemente pela Xeroflor® América. (Fonte: Xeroflor® América, 2013)

Nesta perspetiva, de perceber que as coberturas verdes são elementos-chave na transformação das cidades em ambientes urbanos mais sustentáveis (no sentido holistico e integrado do termo), Werthmann (2007), citando Neumann (2004), afirma todavia que a implementação de coberturas verdes será mais influenciada por fatores económicos, de preocupações de saúde e bem-estar e impulsionada por estratégias de marketing das cidades, do que efetivamente por questões de desempenho ambiental. O mesmo autor perspetiva que no futuro as próprias agências de seguros de saúde deverão oferecer incentivos às empresas para melhorar as condições de trabalho, libertando gradualmente os trabalhadores dos seus cubículos, pedindo cotas para a iluminação natural e adicionando quotas para o espaço exterior privado per capita. Em ambientes urbanos mais densos, estas quotas só poderão ser atingidas quando os espaços não utilizados nas coberturas forem transformados em coberturas acessíveis. Essas coberturas não serão equipadas apenas com pequenos terraços

sobre as membranas impermeabilizantes, mas cobertos com sistemas de revestimento vegetal, tal como as coberturas verdes do Emprire State Building, em Nova York, instaladas recentemente pela Xeroflor® América (Fig. 5.1.1), permitindo simultaneamente ajustar os custos da gestão das águas pluviais.

Por último, Werthmann (2007) refere ainda que as soluções híbridas de cobertura verde (ligeiras, de baixa manutenção e agradáveis) terão tendência para aumentar a sua popularidade enquanto os custos de instalação diminuem substancialmente.

5.2. Conclusões finais

Em Portugal, tal como nos restantes países do Sul da Europa, houve até ao momento um muito menor desenvolvimento do conceito de cobertura verde, em parte devido ao clima mediterrânico, quente e seco no Verão, significar que as coberturas do tipo extensivo não serão tão bem sucedidas. Além disso, as reduzidas chuvas de Verão, em relação às do Centro e Norte da Europa, significam que o foco alemão na retenção de água da chuva é talvez menos aplicável (Dunnett e Kingsbury, 2008). Em contrapartida, constata-se que nestes climas o maior benefício das coberturas verdes pode ser a redução da temperatura da superfície de edifícios (Köhler et al., 2001). Mas, apesar dos diversos benefícios apontados na literatura, a sua utilização é ainda reduzida devido a fatores como: a insuficiente consciencialização dos intervenientes sobre as suas vantagens; a divulgação deficiente dos conhecimentos técnicos para a conceção e execução; o oneroso acesso a produtos especializados e homologados; a inexistência de regulamentação de edificações específicas; a inexistência de incentivos fiscais que estimulem a adoção deste tipo de soluções; uma análise do custo global sob a ótica custo/benefício (Batista, 2004).

A dissertação apresentada procurou responder a estas questões através da elaboração de um Manual de Boas Práticas para a conceção, instalação e manutenção de soluções construtivas de coberturas verdes, procurando clarificar os requisitos e as especificações técnicas numa perspetiva de contribuir para um melhor conhecimento sobre a tecnologia.

Conclui-se, em primeiro lugar, que os sistemas de coberturas verdes podem contribuir para o bom desempenho dos edifícios e para a melhoria da qualidade dos ambientes urbanos desde que sejam ajustados à zona e situação climática especifica de cada localização. Cada projeto de cobertura verde terá os seus próprios requisitos específicos: programáticos, de conceção e de manutenção. Enquanto que as diferentes camadas funcionais são características semelhantes às diferentes soluções construtivas, a sua ensamblagem e os materiais utilizados estarão dependentes do programa e dos objetivos definidos à partida, que por sua vez, serão determinados pelos fatores específicos de cada localização, que influenciarão o desempenho e o desenvolvimento da vegetação ao longo do tempo. Neste ponto, o fator económico terá um papel fundamental na viabilidade destes processos sendo que os promotores deverão estar esclarecidos de que o alcance dos diversos benefícios de sustentabilidade económica, ambiental e social para os ambientes

construídos que advêm da incorporação desta tecnologia no topo dos edifícios, lhes exige um esforço orçamental potencialmente mais elevado a curto prazo, mas de ganhos a longo prazo.

O segundo aspeto que se pode concluir diz respeito ao sucesso de implementação de sistemas de revestimento vegetal no topo dos edifícios exigir o envolvimento de uma equipa de trabalho que inter-relacione as diferentes especialidades (arquitetura, estruturas, paisagismo, etc.), donos de obra e inclusive instaladores e fornecedores de sistemas estandardizados. Só através da colaboração entre as diferentes partes envolvidas se poderão estabelecer os objetivos para cada intervenção e que determinam todas as fases posteriores, de planeamento, instalação e manutenção. A coordenação da informação entre as diversas disciplinas revela-se essencial para o sucesso de toda a operação evitando afetar a qualidade, a existência de informação duplicada, em falta ou confusa durante a fase de construção, que resultará em atrasos, erros na instalação e consequentes custos adicionais. O Manual de Boas Práticas procura constituir-se assim como um instrumento útil à melhor compreensão das questões fundamentais para a viabilização destes processos, desde as fases iniciais de planeamento até manutenção em serviço.

Em relação às coberturas verdes da "Torre Verde" constatou-se que o sistema instalado do tipo intensivo apresenta um bom estado de conservação. Contudo verifica-se que a aplicação do Manual de Boas Práticas a casos semelhantes no território português pode contribuir principalmente para as melhoria do desempenho em serviço dos sistemas de coberturas verdes instalados. Recomendam-se sobretudo medidas ao nível da manutenção pró-ativa, principalmente no que se referem à manutenção e inspeção dos sistemas de impermeabilização e de drenagem pluvial e na proteção dos revestimentos das paredes perimetrais. A fim de diminuir os encargos e minimizar os riscos de danos na solução construtiva, recomenda-se ainda a implementação de um plano de manutenção.

Quanto às coberturas planas do conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha constata-se que a verificação da viabilidade de implementação de coberturas verdes no topo de edifícios existentes, está condicionada à partida pela sua capacidade em receber um revestimento vegetal, sendo que os fatores mais importantes a considerar são a capacidade de carga da estrutura, o tipo e estado de conservação do sistema de impermeabilização e a capacidade de escoamento da cobertura.

Neste caso de estudo, é evidente a necessidade de incorporação de outras especialidades na perspetiva de otimização da solução construtiva a propor, que será sempre restringida ao tipo extensivo, mais leve e com uma manutenção pouco exigente. Através de um exercício teórico constata-se que estas coberturas poderão permitir a instalação de uma solução construtiva entre 50 a 150 kg/m^2 de peso de saturação. Ao comparar com as cargas impostas pelas modificações efetuadas ao longo dos anos, em revestimentos de chapa de fibrocimento e em sistemas de cobertura invertida com revestimento final em betonilha, uma solução extensiva de revestimento vegetal pode constituir-se como uma alternativa válida para edifícios com características semelhantes, tendo em conta que, para além de funcionarem como revestimentos de proteção

aos elementos construtivos subjacentes, contribuem com um conjunto maior de benefícios para procura da sustentabilidade dos ambientes construídos.

À escala do edifício, para além contribuírem com um espaço de lazer e usufruto para os seus habitantes, pode contribuir para duplicar o tempo de vida útil das membranas de impermeabilização (Peck e Kuhn, 2000), para diminuir as espessuras da camada de isolamento térmico (Nichaou et al, 2001) e para reduzir as necessidades totais de energia em 32% em cada edifício (Jaffal et al,2012).

À escala do conjunto habitacional, se forem contabilizados a totalidade de metros quadrados de cobertura acessível dos 20 blocos, as soluções construtivas de cobertura verde recomendadas podem contribuir, entre outros benefícios, para uma acumulação de água pluvial entre 135.200 l/m^2 e 234.000 l/m^2 e uma remoção anual de poluentes em cerca de 44,2 kg/ha/ano (Yang et al, 2008).

Por último, no caso particular de Lisboa, pode concluir-se que as soluções construtivas de cobertura verde propostas contribuem, em primeiro lugar, para uma taxa de retenção média anual de água pluvial entre 52 e 61% (FLL, 2008; SNIRH, 2013; valores de ref. 495-777mm), e em segundo lugar, de forma útil para a mitigação da "ilha de calor" (Von Stulpnagel et al. 1990; Bass et al, 2002; Wong et al. 2, 2003; Gaffin, 2006; Dunnett e Kingsbury, 2008; EPA, 2008; Weiler e Scholz-Barth, 2009; Castleton et al, 2010) e para a melhoria da qualidade do ar (Gedge e Frith, 2004; Yang et al, 2008; Dunnett e Kingsbury, 2008), tendo em consideração as orientações climáticas que possam contribuir para mitigar ou melhorar as componentes do clima urbano, consideradas por Alcoforado et al. (2006) para a cidade de Lisboa, como adversas para a saúde e conforto humano, ou que originem ambientes (interiores ou exteriores) pouco eficientes sob o ponto de vista energético, com base na alteração dos fatores que condicionam as referidas componentes.

5.3. Perspetivas de desenvolvimento futuro

Analisados os benefícios e requisitos específicos da tecnologia, o desenvolvimento mais amplo das soluções construtivas de coberturas verdes em Portugal passa pela elaboração de regulamentação específica que procure implementar os necessários critérios de qualidade e também pela existência de incentivos e estratégias que estimulem e fomentem a sua implementação.

Por outro lado, com a intenção de fomentar e promover as coberturas verdes, uma análise de custo/benefício aplicada ao território Português, que quantifique num modelo económico os diversos benefícios privados e públicos, permitirá, em primeiro lugar, fornecer informações relevantes sobre reais custos e benefícios que advêm da implementação desta tecnologia no topo dos edifícios, promovendo o uso de coberturas verdes como uma vantagem financeira ou pessoal para promotores e proprietários de edifícios particulares, e tendo em consideração os impactos e as oportunidades de valorização do próprio mercado imobiliário. Em segundo lugar permitirá servir de ferramenta para a execução de politicas e estratégias de incentivo à sua

implementação ao nível local, a fim de melhorar a qualidade de vida e do meio ambiente, promovendo o aumento da sustentabilidade dos ambientes urbanos construídos e a eficiência dos custos/benefícios para os contribuintes e cidadãos locais.

Na perspetiva de transpor as fronteiras do território português, esta investigação pode servir como ponto de partida para a avaliar a viabilidade implementação de soluções de coberturas verdes integradas em estratégias de planeamento ecológico e de desenvolvimento sustentável nos países da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP), como em Cabo Verde, onde é essencial pensar nestas questões de forma holística e integrada, evitando soluções de curto prazo e alcance. Guedes et al. (2009) afirma que a sustentabilidade energética e o uso responsável dos recursos locais devem ser partes integrantes do desenvolvimento sustentável do ecossistema nesses países. As coberturas verdes poderão constituir-se como estratégias de design passivo, contribuindo para ambientes confortáveis no interior dos edifícios e simultaneamente reduzir o seu consumo energético. Juntamente com outras técnicas passivas, e ajustadas a cada localização, irão permitir que os edifícios se adaptem ao meio ambiente envolvente, através de um processo projetual e da utilização inteligente dos materiais e elementos construtivos, evitando o recurso a sistemas mecânicos consumidores de energia fóssil.

BIBLIOGRAFIA

ALCAZAR, S.; Bass, B. **Energy performance of green roofs in a multi-storey residential building in Madrid**. Proceedings of the Third Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Washington, DC, USA. 2005.

ALCOFORADO, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J. **Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa**. Universidade de Lisboa. Centro de Estudos Geográficos. Área de investigação de Geo-Ecologia. Lisboa, Portugal. 2006. ISBN-10: 972-636-165-6.

ALEXANDRI, E.; Jones, P. **Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: comparison with experimental results**, Building and Environment , volume 42. Elsevier, 2007. pp. 2835– 2849.

ALEXANDRI, E.; Jones, P. **Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates.** Building and Environment, volume 43. Elsevier, 2008. pp. 480–493.

APPL, R. **ETA "Kits for Green Roofs": A new standard for Green Roofs in Europe**. Green Roof News. Issue 2/2013. IGRA – International Green Roof Association. Consultado em 10 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.igra-world.com/links_and_downloads/images_dynamic/IGRA_Green_Roof_News_2_2013.pdf

Arquivo Municipal de Lisboa – Núcleo Intermédio. Divisão de Gestão de Arquivos. Câmara Municipal de Lisboa. Visitado em 18 de Agosto de 2013.

ASD – Architectural Services Department. **Study on green roof application in Hong Kong: Final report**. Urbis Limited. Hong Kong. 2007. Consultado em 24 de Maio de 2013. Disponível em http://www.archsd.gov.hk/media/11630/green_roof_study_final_report.pdf

BANTING, D.; Doshi, H; Li, J.; Missios, P. **Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the City of Toronto – Prepared for City of Toronto and Ontario Centres of Excellence – Earth and Environmental Technologies (OCE-ETech)**. Dept. of Architectural Science, Ryerson University. Toronto, Canada. 2005.

BATISTA, Sônia Barbosa. **Impermeabilização de coberturas em terraço: Directrizes para o projecto**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. 2004.

BASS, B.; Stull, R.; Krayenjoff, S.; Martilli, A. **Modelling the impact of green roof infrastructure on the urban heat island in Toronto**. The Green Roof Infrastructure Monitor 4(I): 2-3. 2002.

BEATTIE, D.; Berghage, D. **Green Roof media characteristics: the basics**. Proceedings of the Second Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Portland, USA. 2004.

BERGHASE, R. **Green roof runoff water quality**. Proceedings of the Fifth Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Minneapolis, USA. 2007.

BERNDTSSON, J.; Bengtsson, L.; Jinno, K. **Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs**. Ecological Engineering, volume 35. Elsevier, 2009. pp. 369–380.

BERNDTSSON, J. **Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review.** Ecological Engineering, volume 36. Elsevier, 2010. pp. 351–360.

BLOUD, F. **Les terrasses jardins**. Conception-produits. Mise en ouvre. Paris, Centre d'Assistance Technique et de Documentation (CATED). Novembre 1982. Mémento CATED 19.

BRENNEISEN, S. **Birds, Beetles and Spiders on Green Roofs.** Basel University. Switzerland. 2000.

BRENNEISEN, S. **From biodiversity strategies to agricultural productivity**. Proceedings of the Second Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Portland, USA. 2004.

CASTLETON, H.F.; Stovin, V.; Beck, S.B.M.; Davison, J.B. **Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit.** Energy and Buildings, volume 42. Elsevier, 2010. pp. 1582–1591.

CLARK, C.; Adriaens, P.; Talbot, F. **Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits.** Environmental Science & Technology, volume 42. Elsevier, 2008. pp. 2155–2161.

Clickz.it. **Torre Guinigi**. 2013. Sítio de Internet. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://www.clickz.it/user_images/7132679.jpg

COIAS, Vítor. **Inspecções e Ensaios na reabilitação de edifícios.** IST Press. Lisboa, Portugal. 2006. ISSN: 972-8469-53-5. p. 24.

CORBET, M.; Logeais, L.; Eluard, P. **Les jardins sur dalles**. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux. Publics (ITBTP). 369. Fevrier Série Générale de Ia Construction 73. Paris, 1979.

COSTA, João Pedro. **Bairro de Alvalade – Um Paradigma no Urbanismo Português**. Livros Horizonte, Lisboa, Portugal. 2002. ISSN: 978-972-24-1382-4. pp. 95-99.

COSTA, L. **Espaços verdes sobre cobertura: Uma Abordagem Estética e Ética**. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura Paisagista. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto de Agronomia. Lisboa, Portugal. 2010.

Cristal d'Água®. **Representação de produtos com novas tecnologias de tratamento de solos**. Rustiancora, Âncora. Viana do Castelo. Informação facultada em 28 de Agosto de 2013.

Del BARRIO, E. P. **Analysis of the green roofs cooling potential in buildings**. Energy and Buildings, volume 27 Elsevier, 1998. pp. 179–193.

DGATLP. **Housing Statistics 2002, Additional data on sustainable housing**, DGATLP com dados da OCDE de 1999. 2002.

DL 80/2006. **RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios**

DUNNETT, N.; Clayden, A. **Rain Gardens: Managing Water Sustainably in the Garden and Designed Landscape**. Timber Press. Portland, USA. 2007.

DUNNETT, N.; Kingsbury, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Timber Press, London, UK. 2008. ISBN-13: 978-0-88192-911-9.

DUSTY, G. **Tracking bees on a green roof brown roof – Laban Dance Centre.** 2009. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://dustygedge.co.uk/roadblog/wp-content/gallery/laban-view-09/late-july.jpg

EARTH PLEDGE. **Green Roofs: Ecological Design and Construction**. Schiffer Publishing, New York, USA. 2005. ISBN: 0-7643-2189-7.

EMILSSON, T. **Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate composition, establishment method and species mix**. Ecological Engineering, volume 33. Elsevier, 2008. pp. 265–277.

EPA – United States Environment Protection Agency. **Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing, EPA 22P-2001, 1992**. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, 2008. www.epa.gov/heatislands

FARRALL, H. **Clima de Portugal Continental**. Curso de Formação "Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I". Construção Sustentável – TironeNunes S.A. Lisboa, Portugal. 2011.

FARRALL, H.; da Costa, F.P. **Sessão prática**. Curso de Formação "Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I". Construção Sustentável – TironeNunes S.A. Lisboa, Portugal. 2011.

FENG, C.; Meng, Q.; Zhang, Y. **Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs**. Energy and Buildings, volume 42. Elsevier, 2010. pp. 959–965.

FIORETTI, R.; Palla, A.; Lanza, L..; Principi, P. **Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate.** Building and Environment, volume 45. Elsevier, 2010. pp. 1890–1904.

FJiP – **Fundació de la Jardineria y el Paisatge**. Sítio de internet. Consultado em 14 de Novembro de 2013. Disponível em http://fjip-ntj.org/es/servicios/normas-tecnologicas

FLL. **Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green-Roofing – Green Roofing Guideline**. Research foundation for landscaping issues (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau). Bonn, Germany. 2008.

FLORES-COLEN, I. **Manutenção pró-ativa das construções**. Documentação da cadeira de Manutenção de Construções no âmbito do Mestrado em Construção e Reabilitação. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2011.

GAFFIN, S. **Energy balance modelling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency**. Greening Rooftops for Sustainable Communities. Boston, USA, 2006.

GEDGE, D.; Frith, M.. **Green Roofs – Benefits and cost implications**. A Report for Sustainable Eastside. Livingroofs.org. in association with Ecology Consultancy. Birmingham, UK. 2004.

GETTER, K.; Rowe, D.; Robertson, G.; Cregg B.; Andresen, J. **Carbon sequestration potential of extensive green roofs**. Environmental Science & Technology, volume 43. Elsevier, 2009. pp. 7564–7570.

GETTER, K.; Rowe, D. **Substrate depth influences sedum plant community on a green roof.** Hortscience, volume 44. Elsevier, 2009. pp. 401–407.

GONÇALVES, H; Graça, J.M. **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Iniciativa Pública "Eficiência Energática nos Edifícios" (P3E). Promovida pela Direção Geral de Geologia e Energia (DGGE). Executada por ADENE, INETI, LNEC e IPQ. Lisboa, Portugal. 2004. ISBN: 972-8268-34-3.

GRANT, G. **Green roofs and façades**. IHS BRE Pess. Bracknell, Reino Unido. 2006. ISBN-10: 1-86081-940-0.

GRG – Green Roof Guide. **Design Guidance for Biodiverse Green Roofs and Green Roof Supplementary Planning Document Guidance.** Groundwork Sheffield. Scheffield, UK. 2011. Disponível em http://www.greenroofguide.co.uk/

GRO – Green Roof Organisation. **The GRO Green Roof Code: Green roof code of Best Pratice for the UK.** Groundwork Sheffield. Scheffield, UK. 2011.

GUEDES, M.C.; Lopes, L.; Borges, K. E.; Cantuária, G.; Pinheiro, M. D.; Pereira, M.; Lopes, A.; Gomes, C.; Aleixo, J.; Calixto, L. **Arquitectura sustentável em Cabo Verde – Manual de Boas Práticas.** Projeto SURE-Africa (Sustainable Urban Renewal: Energy Efficient Buildings for Africa). CPLP – Comunidade de Países de Língua Portuguesa, Lisboa. 2009. ISBN: 978-989-97178-2-4.

HITCHMOUGH, J. **Urban Landscape Management**. Incata Press. Sydney, Australia. 1994.ISBN-10:0-409-30748-3

HUI, S. C. M. **Study of Thermal and Energy Performance of Green Roof Systems: Final Report**. Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong, Hong Kong. 2009.

HUI, S. C. M; Chan, S.C. **Integration of green roof and solar photovoltaic systems** Joint Symposium 2011: "Integrated Building Design in the New Era of Sustainability". Hong Kong. 2011.

HUTCHINSON, D.; Abrams, P.; Retzlaff, R.; Liptan, T. **Stormwater monitoring of two ecorroofs in Portland, USA**. Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Chicago, USA. 2003.

IGRA – **International Green Roof Association**. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://www.igra-world.com/

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Estatísticas do Ambiente 2001**. Lisboa. 2001.

IPMA, I.P. – **Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.** Sítio de Internet. Consultado em 10 de Setembro de 2013. Disponível em https://www.ipma.pt/pt/

JAFFAL, I.; Ouldboukhitine, S.; Belarbi, R. **A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance**. Renewable Energy, volume 43 Elsevier, 2012. pp. 157-164.

JIM, H. **The Hanging Gardens of Babylon.** 2010. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://historicmysteries.com/wp-content/uploads/2010/05/Hanging_Gardens_of_Babylon.jpg

JONES, R. A. **Tecticolous Invertebrates - a Preliminary Investigation of the Invertebrate Fauna on Ecoroofs in Urban London**. English Nature. London, UK. 2002.

KADAS, G. **Study of Invertebrates on Green Roofs. How Roof Design can Maximise Biodiversity in an Urban Environment.** Unpublished MSc thesis, University College London, UK. 2002.

KÖHLER, M.; Schmidt, M.; Grimme F. W.; Laar M.; Gusmão F. **Urban water retention by greened roofs in temperate and tropical climates.** In *Proceedings of the 38th World Congress of the Internacional Federation of Landscape Architects,* Singapore. Versailles: IFLA. 2001

KÖHLER, M. **Plant survival research and biodiversity: lessons from Europe**. Greening Rooftops for Sustainable Communities. Chicago. 2003. pp. 313– 322.

KÖHLER, M.; Wiartalla, W.; Fiege, R. **Interaction between PV-systems and extensive green roofs**. Proceedings of the Fifth Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Minneapolis, USA. 2007.

KOLB, W.; Schwarz, T.; Trunk, R.; Zott, H. **Extensivbegrünung mit System? Rasen-Turf-Gazon** 4: 1989. pp.91-97.

KOSAREO, Lisa; Ries, Robert. **Comparative environmental life cycle assessment of green roofs**. Building and Environment, volume 42. Elsevier, 2007. pp. 2606-2613.

KRAUTER, S.; Araújo, R.G; Schroer, S.; Hanitsch, R.; Salhi, M. J.; Triebel, C.; Lemoine, R. **Combined photovoltaic and solar thermal systems for façade integration and building insulation.** Solar Energy, volume 67 (4–6). Elsevier. 1999. pp. 239–248.

KUMAR, R.; Kaushik, S. **Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings**. Building and Environment, volume 40. Elsevier. 2005. pp. 1505–1511.

LiderA®. **Torre Verde – Certificação em 2007**. Sítio de Internet. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://www.lidera.info/imagens/Edif%C3%ADcioTorre%20Verde.jpg

LIPTAN, T. **Author interview**, Bureau of Environment Services. Portland, USA. 2002

LIU, K; Baskaran, B. **Thermal performance of green roofs through field evaluation.** Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Comunities. Chicago, USA. 2003.

LiveRoof®. **LiveRoof Hybrid Green Roof System**. Sítio de Internet. Consultado em 10 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.liveroof.com/index.php?parent=LiveRoof_System&page=liveroof_overview

LNEC – **Laboratório Nacional de Engenharia Civil**. Sítio de internet. Consultado em 16 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.lnec.pt/

LOPES, Jorge M. Grandão. **Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Informação Técnica de Edifícios ITE 34. Lisboa, Portugal. 1994.

LOPES, Jorge M. Grandão. **As especificidades das coberturas ajardinadas**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, COM 113 - Comunicação apresentada ao "2º Congresso Nacional da Construção – Construção 2004". Porto, Portugal. 2004.

MANKIEWICZ, P.; Simon, D.B. **Integrating stormwater and greywater treatment for thermal regulation and the enhancement of biological diversity: using mass balance of water as a design criteria**. Greening Rooftops for Sustainable Communities. Minneapolis, USA. 2007.

MARIANI, A. **Lucca, Torre dei Guinigi.** 2006. Consultado em 4 de Julho de 2013. Disponível em http://www.flickr.com/photos/alexandros80/296712367/in/photostream/

MARTENS, R.; Bass, B. **Roof-envelope ratio impact on green roof energy performance**. Proceedings of the Fourth Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Boston, USA. 2006.

MCDONOUGH, W. **Concept for Rooftop Farming. Liuzhou, Guangxi, República Popular da China**. William McDonough + Partners, 2013. Consultado em 10 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.mcdonoughpartners.com/projects/view/concept_rooftop_farming

MENTENS, J.; Raes, D.; Hermy, M. **Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?**. Landscape and Urban Planning, volume 77. Elsevieir, 2006. pp. 217–226.

MORGADO, J. **Plano de inspeção e manutenção de coberturas de edifícios correntes.** Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. 2012.

MOURÃO, J. F.M.; Pedro, J. B. **Arquitectura e sustentabilidade ecológica**. Artigo realizado no âmbito do projeto de investigação "Habitação para o futuro" (POCTI/AUR/39795/2001) – LNEC, FEDER e FCT. Arquitectura e vida, Ano IV, nº 48, Abril de 2004, pp. 28-31. Consultado em 8 de Abril de 2011. Disponível em http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DED/NA/pessoal/jpedro/Research/Pdf/Artigo%20arquitectura%20e%20sustentabilidade.pdf

NEUMANN, K. **Grüne Dächer als Herausforderung für die Zukunft (Coberturas verdes como um desafio para o futuro)**. International Green Roof Congress. Berlim. Alemanha. 2004.

NIACHOU, A.; Papakonstantinou, K.; Santamouris, M.; Tsangrassoulis, A.; Mihalakakou, G. **Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance**. Energy and Buildings, volume 33. Elsevier, 2001. pp. 719–729.

OBERLANDER, C.; Whitelaw, E.; Matsuzaki, E. **Introductory manual for greening roofs for Public works and Government services in Canada**. Toronto: Public works and Government services, Canada. 2002.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. Routledge, London. UK. 1987.

Optigreen®. **Green Roofs – Technical brochure**. Optigreen®. 2013. Disponível em http://pageflip.optigreen.com/GB/#/1/

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens: History, design, construction**. W. W. Norton and Company. New York, USA. 1999. ISSN: 0-393-73012-3.

PALLA, A.; Gnecco, I.; Lanza, L. **Unsaturated 2D modelling of subsurface water flow in the coarse-grained porous matrix of a green roof**. Journal of Hydrology, volume 379, Elsevier, 2009. pp. 193–204.

PECK, S. P.; Callaghan, C.; Kuhn, M. E.; Bass, B. **Greenbacks froom greenroofs: Forging a new industry in Canada**. Canada Mortgage and Housing Corp. Toronto, Canada. 1999.

PECK, S.; Kuhn, M. **Design Guidelines for Green Roofs.** Environment Canada. Toronto, Canada. 2000.

PECK, S. **Towards an integrated green roof infrastructure evaluation for Toronto.** The Green Roof Infrastructure Monitor 5(I). Toronto City Authority, Environment Canada, Green Roofs for Healthy Cities, and the Canadian National Research Council Institute for Research in Construction. Toronto, Canada. 2003

PINHEIRO, M.D. **Certificação Ambiental da Construção Sustentável – Curso de Assessores Sistema LiderA: Projetar com sustentabilidade**. Curso de Formação. FUNDEC. Lisboa, Portugal. 2011.

prof2000.pt. **Clima de Portugal**. Sítio de Internet. Consultado em 10 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo7/clima/cportugal.htm

RENTERGHEM, T; Botteldooreen, D. **In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs.** Building and Environment, volume 46. Elsevier, 2011. pp. 729-738.

SAIZ, S.; Kennedy, C.; Bass, B.; Pressnail, K. **Comparative life cycle assessment of standard and green roofs.** Environmental Science & Technology, volume 40. Elsevier, 2006. pp. 4312–4316.

SCHOLZ_BARTH, K. **Green roofs: Stormwater management from the top down**. Environmental Design and Construction. January/February. 2001

SCHRADER, S.; Boening, M. **Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans.** Pedobiologia, volume 50. Elsevier, 2006. pp. 347– 356.

SCHUNCK, E.; Oster, H. J.; Barthel, R.; Kiessl, K. **Roof Construction Manual, Pitched Roofs.** Birkhäuser, Basel, Switzerland. 2003. pp. 205-217.

SEQUEIRA, E. **Camada drenante e substratos: Funções, propriedades e características**. Curso de Formação "Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I". Construção Sustentável – TironeNunes S.A. Lisboa, Portugal. 2011.

SHE – Secretaria de Estado da Habitação. **O sector da habitação no ano 2000**. Lisboa. 2000

SMITH, P. F. **Architecture in a climate of change**, Architectural Press. Elsevier. 2001. ISSN: 0-7506-65440.

SNIRH. **Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos**. Sítio de internet. Consultado em 14 de Novembro de 2013. Disponível em http://snirh.pt/

STOVIN, V.; Dunnett, N.; Hallam, A. **Green Roofs – getting sustainable drainage off the ground**. 6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Mangement (Novatech 2007). Lyon, France. 2007. pp. 11–18.

TAKEBAYASHI, H.; Moriyama, M. **Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island**. Building and Environment, volume 42. Elsevier, 2007. pp. 2971–2979.

TEEMUSK, A.; Mander, U. **Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia**. Building and Environment, volume 44. Elsevier, 2009. pp. 643–650.

TGRTAG – Toronto Green Roof Technical Advisory Group. **Toronto Green Roof Construction Standard and the Supplementary Guidelines.** Office of the Chief Building Official, Toronto Building, City of Toronto. Canada. 2011. Consultado em 9 de Fevereiro de 2012. Disponível em http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/GreenRoof-supGuidelines.pdf

thehighline.org, **The High Line.** Sítio de Internet. Consultado em 14 de Novembro de 2013. Disponível em http://www.thehighline.org/galleries/images/high-line-park-photos

TIRONE, N. **Isolamento térmico**. Curso de Formação "Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I". Construção Sustentável – TironeNunes S.A. Lisboa, Portugal. 2011.

TIRONE NUNES©. **Tirone Nunes Actividades Imobiliárias**. Sítio de Internet. Consultado em 30 de Setembro de 2013. Disponível em http://tironenunes.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=78

TOLDERLUND, L. **Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West.** University of Colorado, Denver, USA. 2010.

TOPIARIS®. **Conjunto de terraços Torre Zen / Torre Fernão de Magalhães / Central Office**. Parque das Nações, Lisboa, Portugal. Topiaris, Arquitetura Paisagista. Sítio de internet. Consultado em 23 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.topiaris.com/content/28_35_Torres_Expo.pdf

TOSTÕES, A. **Fundação Calouste Gulbenkian – Os Edifícios.** Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, Portugal. 2006. ISBN: 972-98728-8-0. p. 194.

Urban Green Spaces Taskforce. **Green Spaces, Better Places**. Department for Transport, Local Government and the Regions. West Yorkshire, UK. 2002.

Vicodi®. **Vicodi – Indústria e Comércio de Plásticos Termoendurecidos**. Vilar do Pinheiro. Maia. Informação facultada em 15 de Fevereiro de 2012.

VILLARREAL E.; Bengtsson, L. **Response of a Sedum green-roof to individual rain events**. Ecological Engineering, volume 25. Elsevier, 2005. pp. 1–7.

VON STULPNAGEL, A.; Hobert, M.; Sukopp, H. **The importance of vegetation for the urban climate**. Urban Ecology. Academic Publishing, The Hague, Netherlands. 1990.

WEILER, S; Scholz-Barth, K. **Green Roof Systems: A guide to the planning, design, and construction of landscapes over structure.** Wiley, New Jersey, USA. 2009. ISBN: 978-0-471-67495-5.

WELLS, M.; Grant, G. **Biodiverse Vegetated Architecture Worldwide: Status, Research and Advances**. IEEM Conference on "Sustainable new housing and major developments: rising to the ecological challenges". Bournemouth. November 2004.

WERTHMANN, Christian. **Green roof: a case study – Design by Michel Van Valkenburgh Associates for the headquarters of the American Society of Landscape Architects.** Princeton Architectural Press. New York, USA. 2007. ISBN: 1-56898-685-8.

WONG, N.; Tay, S.; Wong, R.; Ong, C.; Sia, A. **Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore**. Building and Environment, volume 38 (1). Elsevier, 2003a. pp. 499–509.

WONG, N.; Chen, Yu; Ong C.L.; Sia A. **Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment**. Building and Environment, volume 38 (2). Elsevier, 2003b. pp. 261-270.

YANG, J.; Yu, Q.; Gong, P. **Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago**. Atmospheric Environment, volume 42. Elsevier, 2008. pp. 7266–7273.

Xeroflor® América. Sítio de internet. Consultado em 7 de Setembro de 2013. Disponível em http://www.xeroflora.com/green-roof-projects/commercial/empire-state-building/

ZinCo®. **Sistemas ZinCo para coberturas ecológicas – Guia de planificação**. ZinCo®. 2013a. Disponível em http://www.zinco-cubiertas-ecologicas.es/guias_tecnicas/guias/Sistemas_coberturas%20ecologicas.pdf

ZinCo®. **ZinCo Green Roofing Systems Now with European Technical Approval**. Sítio de internet. Consultado em 10 de Setembro de 2013b. Disponível em http://www.zinco-greenroof.com/EN/greenroof_systems/eta.php

Anexo 1

Zonas climáticas definidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e suas Estratégias Bioclimáticas realizada por Gonçalves e Graça (2004).

Anexo 1 – Zona climática $I_1 – V_1$

Concelhos abrangidos:

Águeda, Albergaria a Velha, Aljezur, Almada, Amadora, Aveiro, Bombarral, Caldas da Rainha, Cantanhede, Cascais, Estarreja, Figueira da Foz, Ílhavo, Lagos, Lourinhã, Mafra, Marinha Grande, Mira, Monchique, Montemor-o-Velho, Murtosa , Nazaré, Óbidos, Odemira, Oeiras, Oliveira do Bairro, Ovar, Peniche, Portimão, Sines, Sintra, Torres Vedras, Vagos, Vila do Bispo.

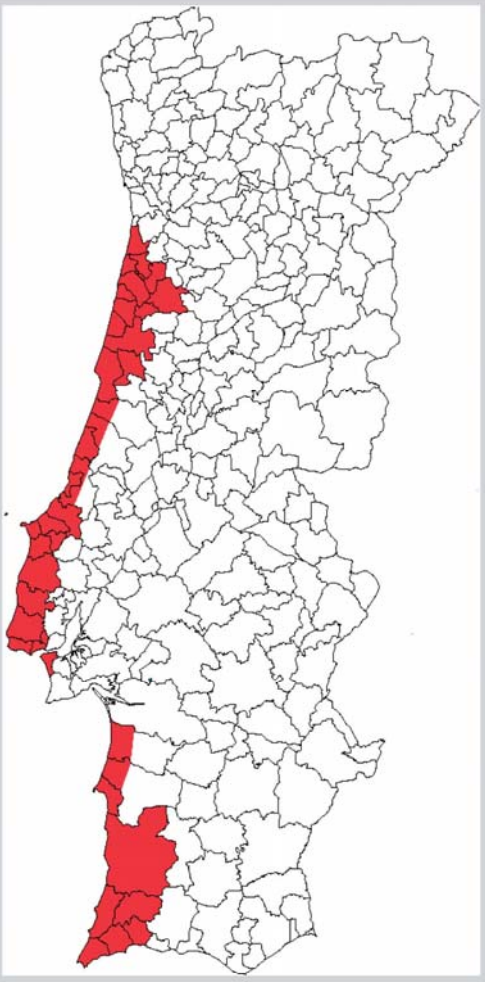


Figura 9 – Localização dos Concelhos com Clima I1 V1

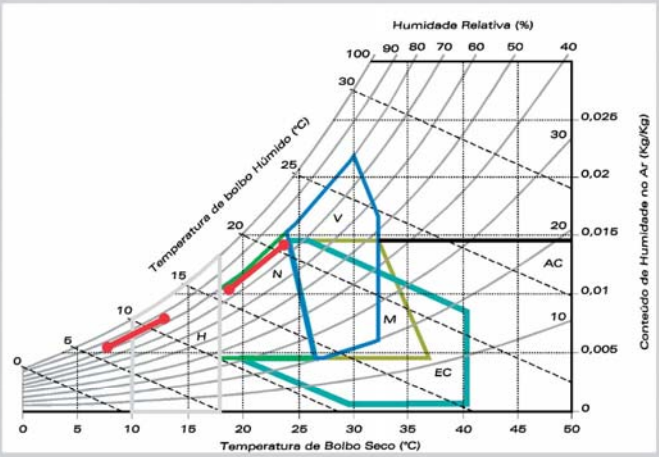


Figura 10 – Carta Bioclimática para Colares (I1 V1)

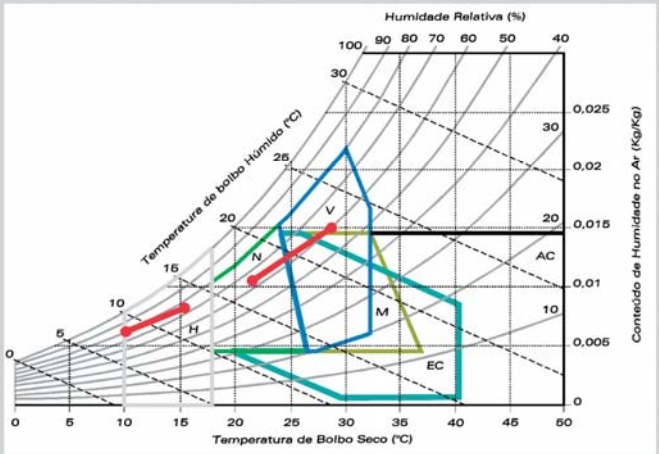


Figura 11 – Carta Bioclimática para Monchique (I1 V1)

I_1-V_1 – Climas mais amenos do território continental, facto que é reflectido numa menor exigência das condições regulamentares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1500 (Caldas da Rainha) e 940 (Portimão). No Verão, devido e à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se amplitudes térmicas diárias menores.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares no quadrante Sul.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares dotando os envidraçados de sobreamentos eficazes. Em virtude da proximidade marítima, a ventilação afigura-se mais conveniente que o arrefecimento evaporativo.

Anexo 1 – Zona climática $I_1 – V_2$

Concelhos abrangidos:

Albufeira, Alenquer, Anadia, Arruda dos Vinhos, Barreiro, Coimbra, Faro, Grândola, Lagoa, Lisboa, Loulé, Loures, Mealhada, Moita, Mortágua, Odivelas, Olhão, Santa Comba Dão, Santiago do Cacém, São Brás de Alportel, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Silves, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira.

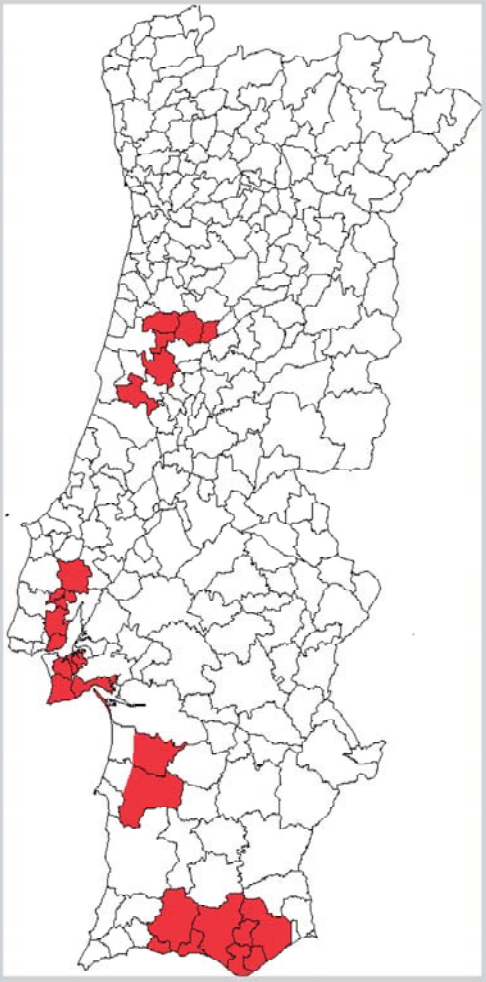


Figura 12 – Localização dos Concelhos com Clima I_1 V_2

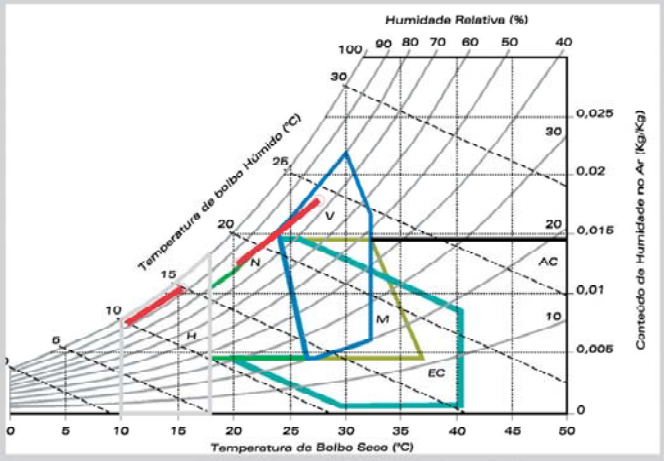


Figura 13 – Carta Bioclimática para Santiago do Cacém (I_1 V_2)

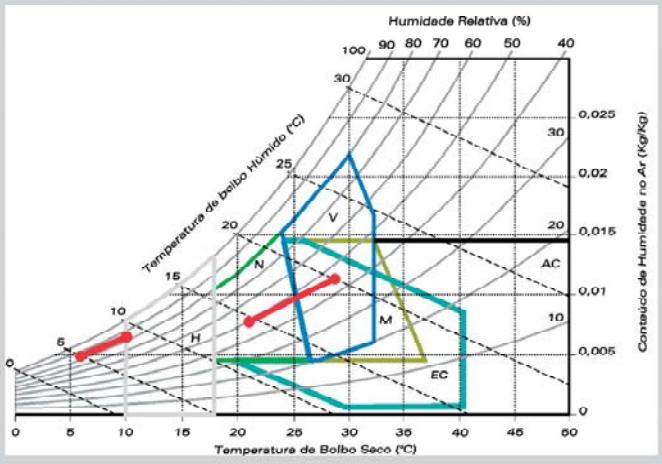


Figura 14 – Carta Bioclimática para Coimbra (I_1 V_2)

I_1-V_2 – Litoral Sul e Algarve, Região de Lisboa e alguns concelhos da zona Centro. A influência marítima suaviza alguns deste climas. O Verão deverá merecer um cuidado mais especial que o Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1490 (Soure) e 1010 (Olhão). No Verão, devido e à preponderância da influência estabilizadora marítima verificam-se menores amplitudes térmicas diárias.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares dotando os envidraçados de sobreamentos eficazes. Promover Ventilação.

Anexo 1 – Zona climática $I_1 – V_3$

Concelhos abrangidos:

Alandroal, Alcácer do Sal, Alcochete, Alcoutim, Aljustrel, Almeirim, Almodôvar, Alpiarça, Alter do Chão, Alvito, Arraiolos, Arronches, Avis, Azambuja, Barrancos, Beja, Benavente, Borba, Campo Maior, Cartaxo, Castro Marim, Castro Verde, Coruche, Crato, Cuba, Elvas, Entrocamento, Estremoz, Évora, Ferreira do Alentejo, Fronteira, Golegã, Mértola, Monforte, Montemor-o-Novo, Montijo, Mora, Moura, Mourão, Ourique, Palmela, Ponte de Sôr, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Salvaterra de Magos, Santarém, Serpa, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vidigueira, Vila Franca de Xira, Vila Real de Santo António, Vila Viçosa.

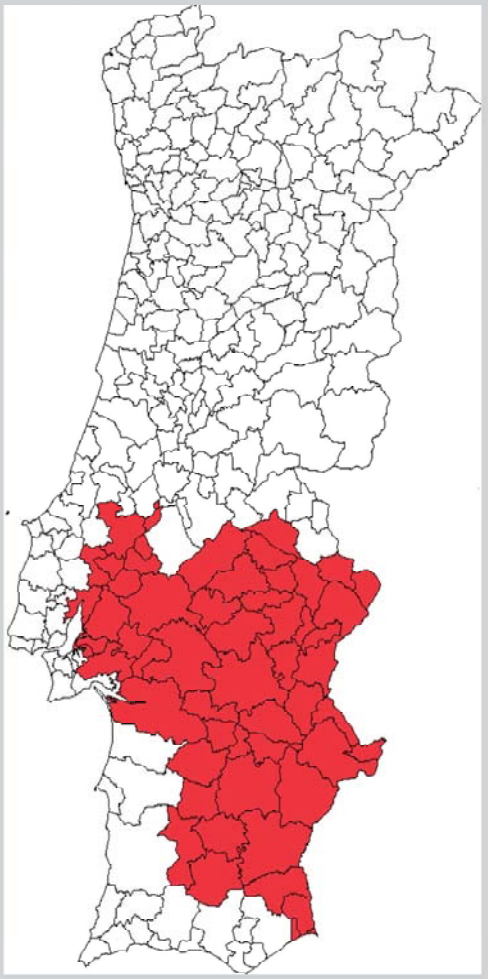


Figura 15 – Localização dos Concelhos com Clima I_1 V_3

I_1-V_3 – As exigências de Verão deverão ter uma importância superior às de Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 1470 (Entroncamento) e 1100 (Castro Marim). Maior preponderância da influência continental, que se reflecte em climas mais secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica forte.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares. Inércia forte.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares; Alentejo Interior. Promover Inércia forte e arrefecimento evaporativo.

Deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares, pelo que os envidraçados deverão ser dotados de eficazes protecções para o Verão.

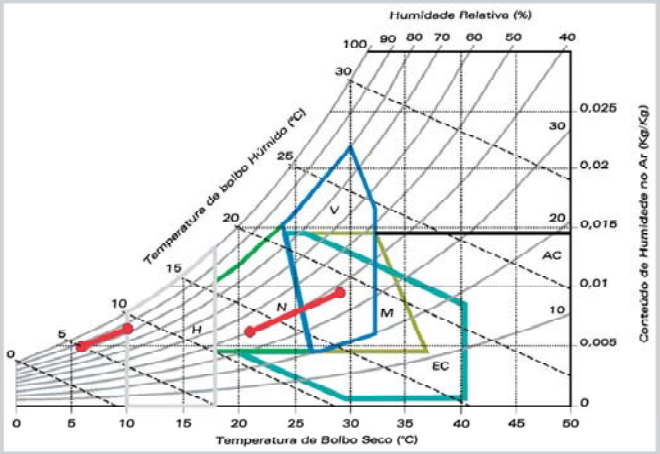


Figura 16 – Carta Bioclimática para Évora (I_1 V_3)

Anexo 1 – Zona climática $I_2 – V_1$

Concelhos abrangidos:

Alcobaça, Arouca, Barcelos, Batalha, Cadaval, Castelo de Paiva, Espinho, Esposende, Feira, Fornos de Algodres, Gondomar, Leiria, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azemeis, Oliveira de Frades, Paredes, Penalva do Castelo, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Varzim, São João da Madeira, Sever do Vouga, Trofa, Vale de Cambra, Valongo, Viana do Castelo, Vila do Conde, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vouzela.

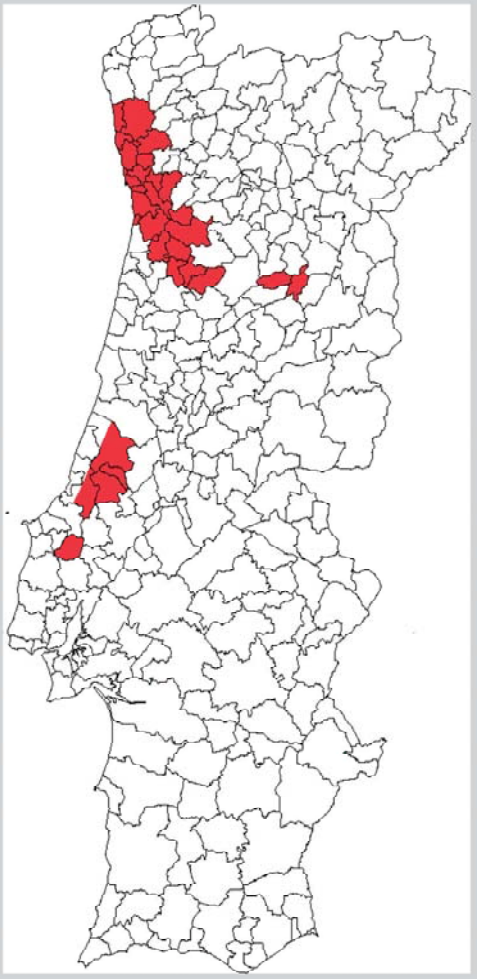


Figura 18 – Localização dos Concelhos com Clima I_2 V_1

I_2-V_1 – Litoral Norte e Centro. A influência Marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno mais exigente que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar os ganhos solares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2090 (Penalva do Castelo) e 1530 (Cadaval). No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se junto à costa menores amplitudes térmicas diárias relativamente a regiões interiores de maior influência continental.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares.
Promover ventilação.

Deverá haver especial cuidado na promoção dos ganhos solares a Sul [Inverno], porém sem esquecer a protecção dos envidraçados de modo a restringir ganhos solares de Verão.

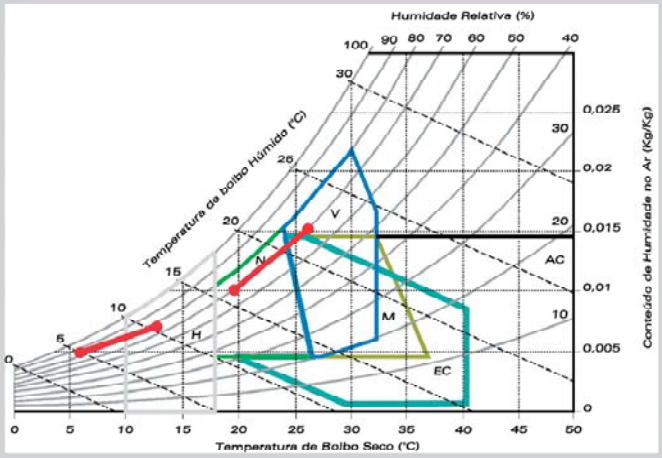


Figura 19 – Carta Bioclimática para a cidade do Porto – Serra do Pilar (I_2 V_1)

Anexo 1 – Zona climática $I_2 – V_2$

Concelhos abrangidos:

Alcanena, Amarante, Amares, Ansião, Arganil, Belmonte, Braga, Carregal do Sal, Celorico de Basto, Condeixa-a-Nova, Fafe, Felgueiras, Guimarães, Lousa, Lousada, Mangualde, Marco de Canavezes, Miranda do Corvo, Monção, Nelas, Oliveira do Hospital, Paços de Ferreira, Penacova, Penafiel, Penela, Pombal, Ponte de Lima, Póvoa do Lanhoso, Rio Maior, Santo Tirso, São Pedro do Sul, Tábua, Tondela, Valença, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Ourém, Vila Nova de Poiares, Vila Verde, Viseu, Vizela.

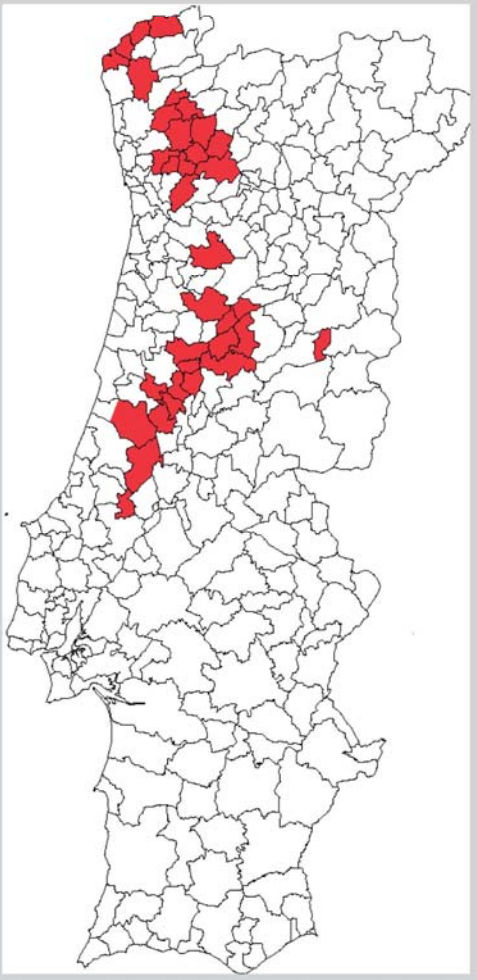


Figura 20 – Localização dos Concelhos com Clima I_2 V_2

I_2-V_2 – Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2090 (Fafe) e 1510 (Penacova). No Verão, as amplitudes térmicas diárias poderão considerar-se com valores médios, o que já exige cuidados maiores com a inércia térmica dos edifícios.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares. Deverá haver especial cuidado na promoção dos ganhos solares nas orientações do quadrante Sul.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares pelo que os envidraçados deverão ser eficazmente sombreados. Promover inércia forte.

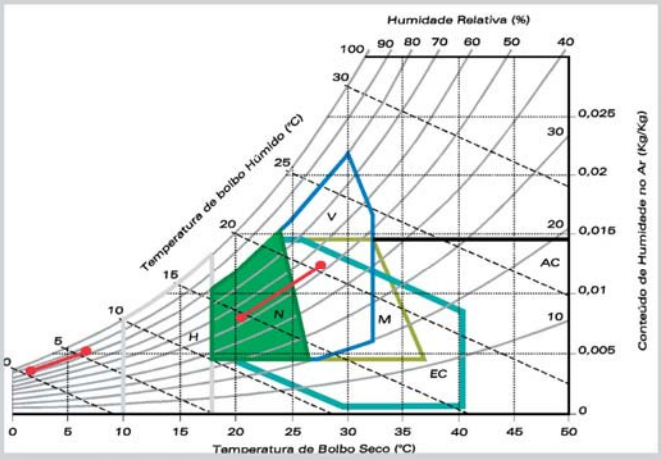


Figura 21 – Carta Bioclimática para Viseu (I_2 V_2)

Anexo 1 – Zona climática $I_2 – V_3$

Concelhos abrangidos:

Abrantes, Alvaiázere, Borba, Castelo Branco, Castelo de Vide, Chamusca, Constância, Ferreira do Zêzere, Figueiró dos Vinhos, Fundão, Gavião, Idanha-a-Nova, Mação, Marvão, Mesão Frio, Nisa, Pedrogão Grande, Penamacor, Peso da Régua, Portalegre, Proença-a-Nova, Santa Marta de Penaguião, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila de Rei, Vila Nova da Barquinha, Vila Velha de Ródão.

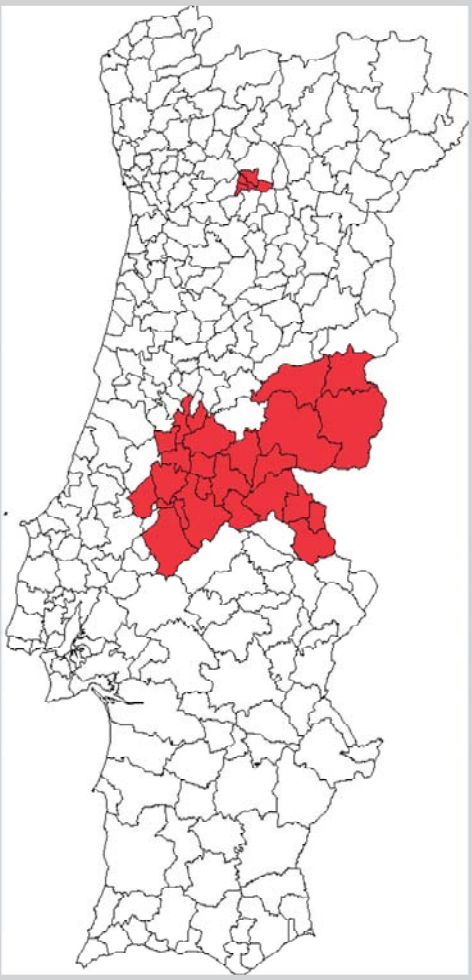


Figura 22 – Localização dos Concelhos com Clima I_2 V_3

I_2-V_3 – Zona do Vale do Tejo e Alentejo Interior e dois concelhos junto ao rio Douro. As condições de Verão sobrepõem-se às de Inverno, pelo que deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares. Climas Secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica pesada. As diferenças com a zona I1-V3 advêm de uma latitude superior que motiva maiores necessidades de aquecimento no Inverno. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2100 (Santa Marta de Penaguião) e 1510 (Vila Velha de Ródão).

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir de perdas por condução; promover os ganhos solares.
Verão – Restringir de ganhos por condução; restringir ganhos solares. As condições de Verão sobrepõem-se às de Inverno, pelo que deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares dotando os envidraçados de sobreamentos eficazes. Promover inércia forte e arrefecimento evaporativo.

Dotar os edifícios de **elevados níveis de isolamento térmico** afigura-se muito adequado, dado que beneficia o seu desempenho tanto no Inverno como no Verão [Restrição da transmissão térmica por condução].

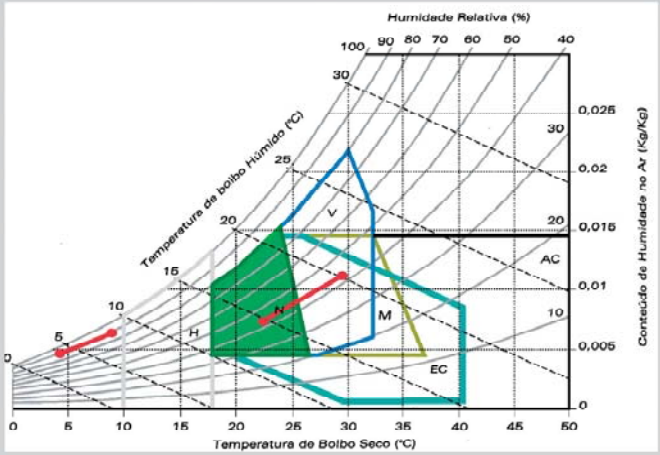


Figura 23 – Carta Bioclimática para Abrantes/Tancos (I_2 V_3)

Anexo 1 – Zona climática $I_3 – V_1$

Concelhos abrangidos:

Boticas, Celorico da Beira, Guarda, Manteigas, Melgaço, Montalegre.

Figura 24 – Localização dos Concelhos com Clima I_3 V_1

I_3-V_1 – O Inverno é muito mais agressivo que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. Os Graus Dias de Aquecimento variam entre 3000 (Manteigas) e 2120 (Vale de Cambra). No Verão verificam-se baixas amplitudes térmicas diárias porém uma inércia térmica forte é muito conveniente devido ao Inverno e beneficia as condições de Verão.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares os quais deverão ser associados a uma boa massa de armazenamento térmico (Inércia Forte). Sistemas Solares Passivos de Aquecimento são muito adequados.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares. As condições de Inverno sobrepõem-se às de Verão, pelo que deverá haver especial cuidado na promoção dos ganhos solares.

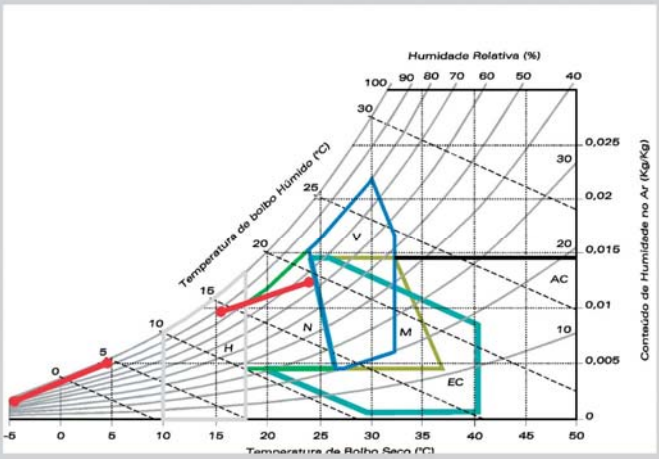


Figura 25 – Carta Psicrométrica de Givoni para Montalegre (I_3 V_1)

Anexo 1 – Zona climática $I_3 – V_2$

Concelhos abrangidos:

Aguiar da Beira, Alfândega da Fé, Almeida, Arcos de Valdevez, Bragança, Cabeceiras de Basto, Carrazeda de Anciães, Castro de Aire, Chaves, Cinfães, Covilhã, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada à Cinta, Gois, Macedo de Cavaleiros, Meda, Miranda do Douro, Mogadouro, Mondim de Basto, Murça, Paredes de Coura, Penedono, Pinhel, Ponte da Barca, Ribeira de Pena, Sabugal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Terras de Bouro, Torre de Moncorvo, Trancoso, Vieira do Minho, Vila Flor, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real,Vimioso, Vinhais.

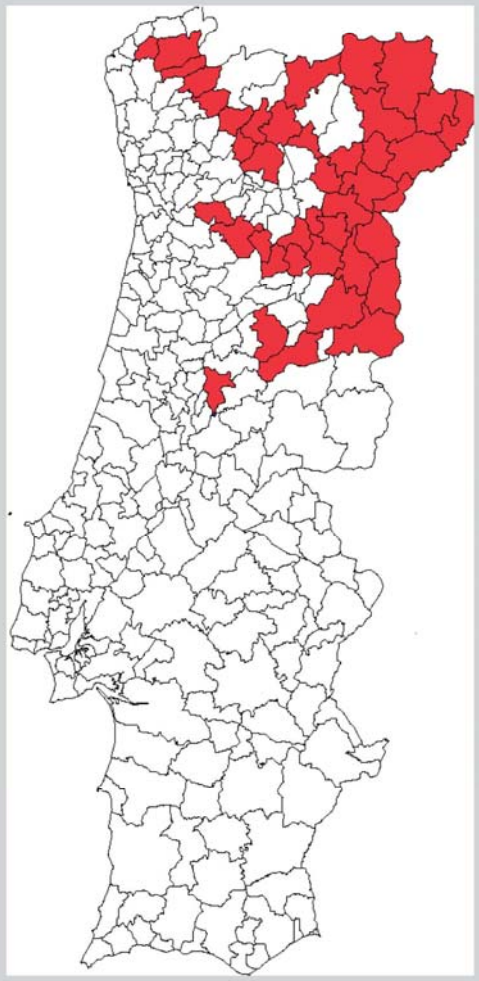


Figura 27 – Localização dos Concelhos com Clima I_3 V_2

I_3-V_2 – Alguns concelhos de Trás-os-Montes, Douro, Minho e Beira Alta. Inverno mais exigente que Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para absorver ganhos de radiação solar. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2860 (Vila Pouca de Aguiar) ou 2850 (Bragança) e 2180 (Cabeceiras de Basto e Paredes de Coura). No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias relevantes devido à influência do clima continental pelo que é muito conveniente uma inércia térmica forte devido aos climas tanto de Inverno como de Verão.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares os quais deverão ser associados a uma boa massa de armazenamento térmico (Inércia Forte). Sistemas Solares Passivos de Aquecimento são muito adequados.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares, Inércia Térmica pesada e sistemas de arrefecimento evaporativo.

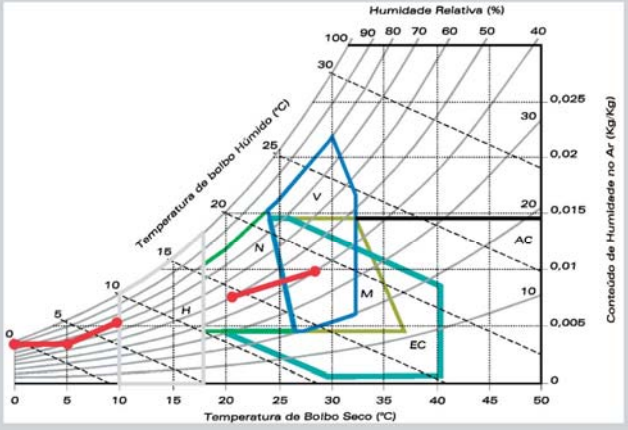


Figura 28 – Carta Bioclimática para a cidade de Bragança (I_3 V_2)

Anexo 1 – Zona climática $I_3 – V_3$

Concelhos abrangidos:

Alijó, Armamar, Baião, Castanheira de Pêra, Lamego, Mirandela, Moimenta da Beira, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Resende, Sabrosa, S. João da Pesqueira, Tabuaço, Tarouca, Valpaços.

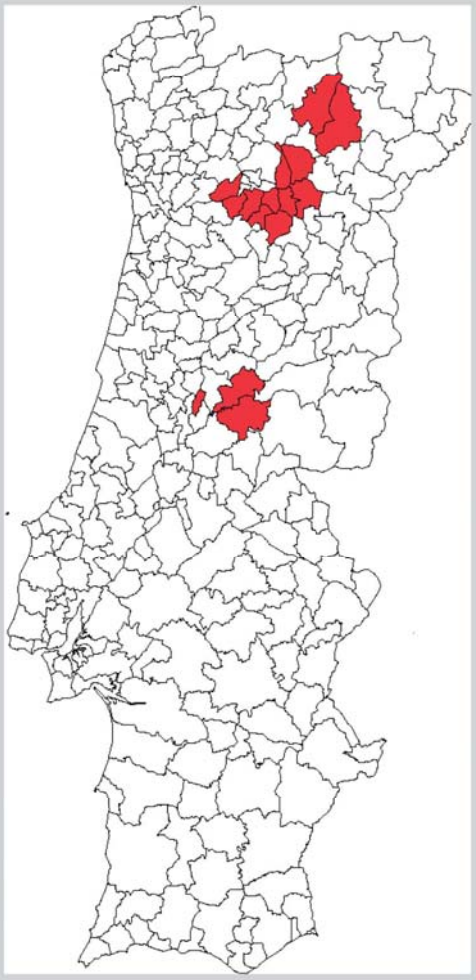


Figura 29 – Localização dos Concelhos com Clima I_3 V_3

I_3-V_3 – Climas mais agressivos do território continental tanto de Inverno como de Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. Os Graus dias de Aquecimento variam entre 2670 (Tarouca) e 2150 (Baião). No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias muito elevadas devido à influência do clima continental pelo que é imprescindível uma inércia térmica forte.

Estratégias Bioclimáticas:
Inverno – Restringir condução; promover os ganhos solares os quais deverão ser associados a uma boa massa de armazenamento térmico (Inércia Forte). Sistemas Solares Passivos de Aquecimento são muito adequados.
Verão – Restringir condução; restringir ganhos solares, inércia térmica forte e sistemas de arrefecimento evaporativo.

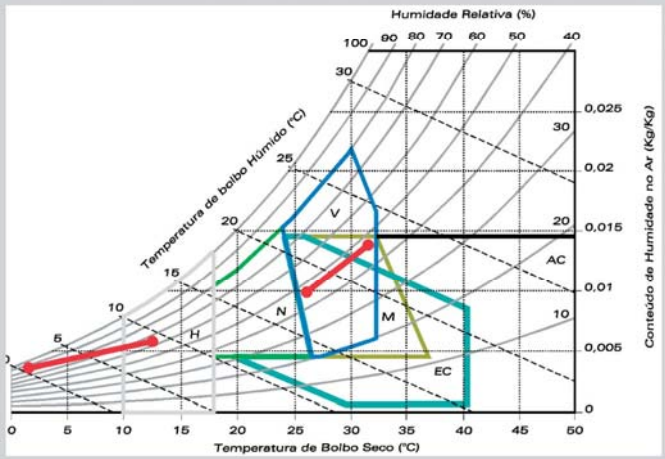


Figura 30 – Carta Bioclimática para Mirandela (I_3 V_3)

Anexo 2

Tabela de conversão de pendentes e inclinações.

Anexo 2 - Tabela de conversão de pendentes e inclinações. (FLL, 2008).

Roof slope in percent corresponds to gradient in degree	Roof slope in percent corresponds to gradient in degree
1% ≅ 0.6°	1° ≅ 1.7%
2% ≅ 1.1°	2° ≅ 3.5%
3% ≅ 1.7°	3° ≅ 5.2%
5% ≅ 2.9°	5° ≅ 8.8%
7% ≅ 4.0°	7° ≅ 12.3%
9% ≅ 5.1°	9° ≅ 15.8%
10% ≅ 5.7°	10° ≅ 17.6%
15% ≅ 8.5°	15° ≅ 26.8%
20% ≅ 11.3°	20° ≅ 36.4%
30% ≅ 16.7°	25° ≅ 46.6%
40% ≅ 21.8°	30° ≅ 57.7%
60% ≅ 31.0°	35° ≅ 70.0%
80% ≅ 38.7°	40° ≅ 83.9%
100% ≅ 45.0°	45° ≅ 100.0%

Anexo 3

Fichas de caracterização e verificação aplicadas aos dois casos de estudo.

Anexo 3 – Caso de estudo 1: Informação geral do edifício (Ficha 1)

FICHA 1

INFORMAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO

Nome / localização do edifício	"Torre Verde" – Parcela 4.19, Passeio do Levante. Parque da Nações, Lisboa.						
Ano de construção e/ou projeto	1998 (Ano de construção)						
Caracterização funcional	Habitação	X	Comércio		Serviços		
	Industrial		Outro				
Nº de pisos	12						
Tipo de envolvente	Rural – terreno aberto, plano, sem obstáculos						
	Rural – terreno com relevo e com obstáculos (casas, construções agrícolas, árvores, etc.)						
	Suburbana						
	Urbana						**X**
	Marítima						
Observações	Este edifício está inserido no plano do Parque das Nações (Zona Norte), numa zona urbana de média/baixa densidade e como ambiente exterior tem uma forte influência do estuário do Tejo.						

Anexo 3 – Caso de estudo 1: Caracterização, verificação e inspeção das coberturas verdes (Ficha 2)

FICHA 2 **CARACTERIZAÇÃO, VERIFICAÇÃO E INSPEÇÃO DE COBERTURAS VERDES**									
Forma	Plana								
Acessibilidade e utilização	Não acessível		Acessível a pessoas		X	Acessível a veículos			
	Uso	Espaço de usufruto e lazer dos habitantes							
Altura ao solo (m)	37 m (1) / 3 m (2) – (1) cobertura verde 10º Piso; (2) cobertura verde embasamento								
Área	100 m^2 (1) 530 m^2 (2)	Inclinação / Pendente				°	2 %		
Beirais e platibandas	Altura dos beirais	mm	Altura das platibandas				1100 mm		
Orientação Solar	SUL								
Exposição aos ventos	Protegido dos ventos dominantes				Velocidade média de vento		m/s		
Estrutura de suporte e capacidade de carga	Continua	X	Descontinua						
	Betão armado	X	Aço			Madeira			
	Alvenaria		Outra						
	Cargas permanentes (inclui o revestimento vegetal)		kg/m^2		Sobrecargas (regulamento vigente)		kg/m^2		
Estabilidade da inclinação	Medidas de proteção contra o deslizamento?		Sem necessidade (pendente máx. 2%)						
Estabilidade ao vento	Medidas de proteção contra a ação do vento?		Geometria do edifício + Platibandas						
Acesso e segurança	Acesso à cobertura	Através das áreas comuns do edifício e limitado aos seus utilizadores.							
	Medidas de proteção contra quedas?		Guardas + platibandas						
	Medidas contra a propagação de incêndio?		Apenas meios de combate a incêndio (regulamento vigente)						
	Margens de segurança	Sem margens de segurança							
Isolamento térmico	Com isolamento	X	Sem isolamento						
	Tradicional		Invertida		X	Sob a estrutura			
	Material	2 placas de XPS (poliestireno extrudido)					100 mm		
Sistema de impermeabilização	Múltiplas camadas	X	Camada única			Membranas liquidas			
	Membrana (material)	Membranas Betuminosas							
	Barreira de raízes, de acordo com a FLL ou com a EN 13948 (material)				Membranas com tratamento contra raízes				
	Camada de proteção	Placas de XPS + telas drenantes							
	Camada de separação	Geotextil 150 g/m^2							
	Altura dos rebordos						300 mm		
	Estado de conservação das membranas, rebordos e vedantes?				Sem possibilidade de avaliar				
	Inspeções e ensaios de deteção de fugas?				Realizados à data da construção				
Gestão das águas pluviais	Nº de saídas e pontos de escoamento? (de acordo com regulamento vigente)								
	Dimensão do sistema de drenagem?		(de acordo com regulamento vigente)						
Solução construtiva de cobertura verde	Fornecedor / instalador	Trabalhos realizados por diversas empresas para a execução de cada empreitada							
	Tipo de cobertura verde	Extensiva				Intensiva simples			
		Intensiva			X	Híbrida			
	Solução construtiva	Multi-camada				Camada única		X	
	Aplicação	Aplicação *in situ*			X	Aplicação modular			
	Tipo de vegetação	Adaptada ao clima – herbáceas, gramíneas e arbustivas							
	Substrato					Altura (entre)	150 e 800 mm		
	Camada filtrante	Geotextil 150 g/m^2							
	Camada Drenante	Geodreno periférico				altura	mm		
	Peso de saturação	kg/m^2	Peso seco				kg/m^2		
	Taxa de retenção de água	%	Acumulação de água				l/m^2		
	Coeficiente de drenagem								
	Estado de conservação da solução construtiva e da vegetação?				Bom estado de conservação				
Qualidade e manutenção	A solução construtiva foi executada por uma ou mais entidades? Quais as responsabilidades e garantias?		Trabalhos realizados por diversas empresas para a execução de cada empreitada com garantia de qualidade por 5 anos.						
	Existe um plano de manutenção?		Não – Manutenção re-ativa						
Irrigação	Nº de pontos de abastecimento de água?	2	Tipo de sistema		Mangueiras + aspersores				
	É necessária durante a estação seca?	Sim							
Equipamentos mecânicos	AVAC's		Painéis solares			Painéis fotovoltaicos			
	Outros	X	2 Acumuladores de AQS de 4000 e 4500L						

Anexo 3 – Caso de estudo 2: Informação geral do edifício (Ficha 1)

FICHA 1

INFORMAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO

Nome / localização do edifício	Conjunto habitacional da Av. D. Rodrigo da Cunha. Alvalade, Lisboa.					
Ano de construção e/ou projeto	1949 (Ano de projeto)					
Caracterização funcional	Habitação	X	Comércio		Serviços	
	Industrial		Outro			
Nº de pisos	4					
Tipo de envolvente	Rural – terreno aberto, plano, sem obstáculos					
	Rural – terreno com relevo e com obstáculos (casas, construções agrícolas, árvores, etc.)					
	Suburbana					
	Urbana					**X**
	Marítima					
Observações	Estes edifícios estão inseridos numa zona urbana de média densidade sob influência do Planalto do Norte de Lisboa, com uma redução moderada da velocidade média do vento e comportamento térmico variável ou ilha de calor moderada.					

Anexo 3 – Caso de estudo 2: Caracterização da cobertura existente (Ficha 3).

FICHA 3 **CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA EXISTENTE**								
Forma	Plana	X	Inclinada - duas águas		Inclinada - quatro águas			
	Inclinada - uma água		Inclinada - três águas		Irregular / curva			
Acessibilidade e utilização	Não acessível		Acessível a pessoas	X	Acessível a veículos			
	Uso	espaços comunitários de utilidade – estender a roupa						
Altura ao solo (m)	12 m							
Área	260 m^2	Inclinação / Pendente			°	2 %		
Proteção contra quedas	Platibandas							
Beirais e platibandas	Altura dos beirais	mm	Altura das platibandas		1100 mm			
Orientação Solar	SUL							
Exposição aos ventos	Protegidos pela geometria dos edifícios e pelas platibandas			Velocidade média de vento	m/s			
Estrutura de suporte e capacidade de carga	Continua	X	Descontinua					
	Betão armado	X	Aço		Madeira			
	Alvenaria	X	Outra					
	Cargas permanentes	180 kg/m^2	Sobrecargas	250 kg/m^2				
Isolamento térmico	Com isolamento		Sem isolamento	X				
	Tradicional		Invertida		Sob a estrutura			
	Material	mm						
Sistema de impermeabilização	Múltiplas camadas	X	Camada única		Membranas liquidas			
	Membrana (material)	Membranas betuminosas						
	Estado de conservação	Fissuração e desagregação						
	Barreira de raízes, de acordo com a FLL ou com a EN 13948 (material)	Não						
Sistema de drenagem pluvial	Nº de saídas de escoamento?	4						
Camada de proteção ou Revestimento	Proteção	Leve	-	mm				
		Pesada solta	-	mm				
		Pesada rígida	-	mm				
	Revestimento	Pétreo	-					
		Cerâmico	-					
		Metálico	-					
		Plástico	-					
		Misto	-					
Abastecimento de água	Nº de pontos de abastecimento de água?	1						
Equipamentos mecânicos	AVAC's		Painéis solares		Painéis fotovoltaicos			
	Outros							

Anexo 3 – Caso de estudo 2: Verificação da viabilidade de implementação de coberturas verdes em coberturas existentes (Ficha 4).

FICHA 4 **VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE COBERTURAS VERDES EM COBERTURAS EXISTENTES**		
Geral	Quais são os objetivos da implementação da cobertura verde?	Colocação de um revestimento vegetal de proteção às membranas de impermeabilização, sem implicar reforços estruturais.
	Acessibilidade e uso previstos (por exemplo, terraço ou horta urbana)?	Criação de um espaço de lazer e usufruto dos habitantes de cada um destes edifícios.
	Qual o tipo de cobertura verde proposto?	Extensiva.
Estabilidade	A estrutura suporta o conjunto de cargas permanentes e sobrecargas previstas?	- A laje da cobertura foi calculada com base numa sobrecarga de 250 kg/m^2; - Os terraços acessíveis, à luz do regulamento atual, é de 200 kg/m^2; - Os terraços não acessíveis, à luz do regulamento atual, é de 100 kg/m^2.
	São necessárias medidas proteção contra o deslizamento?	Não.
	São necessárias medidas contra a ação do vento (especialmente em coberturas de edifícios altos e/ou expostas ao vento)?	Não.
Segurança e utilização	Como será efetuado o acesso à cobertura?	Através das áreas comuns.
	São necessárias medidas de proteção contra quedas?	Não.
	São necessárias medidas de proteção contra a propagação de incêndio?	Sim, de acordo com o Manual de Boas Práticas.
Isolamento térmico	Está conforme os regulamentos vigentes?	Não existe material de isolamento.
	É necessário colocar isolamento térmico adicional?	É necessário prever isolamento térmico para melhorar a eficiência energética e o conforto térmico dos apartamentos subjacentes.
Estanquidade	Inspeções e ensaios de deteção de fugas?	É necessário avaliar a estanquidade do sistema de impermeabilização.
	É necessária a reparação ou a substituição da impermeabilização existente? A impermeabilização existente pode acomodar a solução construtiva sem necessidade de nova impermeabilização?	Caso existam problemas de estaquidade deverá ser realizada a reparação ou substituição da impermeabilização existente.
	A solução construtiva precisa de uma barreira de raízes adicional? Ou será a membrana de impermeabilização a cumprir esta função?	- Sim, no caso de não existir problemas de estaquidade no sistema de impermeabilização existente deverá ser colocada uma barreira de raízes compatível; - Se for necessário novo sistema de impermeabilização poderá optar-se por uma solução que cumpra com esta função.
	A solução construtiva precisa de camada de proteção?	Sim.
	Os rebordos têm as alturas necessárias?	As platibandas/guarda-fogos permitem executar os pontos singulares de acordo com o Manual de Boas Práticas.
Gestão das águas pluviais	Os pontos de escoamento são suficientes?	Sim
	Quais as dimensões necessárias para as margens de segurança?	Apenas para garantir a eficiência da drenagem: - Platibandas = 25cm (mínimo); - Paredes de fachada = 50 cm (mínimo); - Saídas de escoamento = 50 cm (mínimo).
Desempenho da vegetação	São necessárias pendentes, como proteção contra o empoçamento (especialmente coberturas extensivas?	Não
	É necessária a instalação de pontos de abastecimento de água?	Não
Equipamentos mecânicos	É necessário re-localizar os equipamentos mecânicos?	Não aplicável
Qualidade e manutenção	Necessidade de programar as atividades de manutenção?	Sim
	Os custos de manutenção devem ser considerados numa análise de custo do ciclo de vida?	Sim

Anexo 4

Checklist de verificação internacionais de referência.

Anexo 4 – Green Roof Designer Checklist. Office of the Chief Building Official, Toronto Building, City of Toronto. Consultado em 9 de Outubro de 2013. Disponível em http://www.toronto.ca/building/pdf/Green_Roof_Designer_Checklist.pdf

TORONTO Building

Green Roof Designer Checklist

Ontario Building Code O.Reg. 350/06 & By-Law 583-2009

This self- checklist is intended to assist Designers in reviewing their project by providing a summary of Code and Toronto By-law provisions for green roof design. The City of Toronto does not assume responsibility for errors or oversights resulting from the use of this checklist. While care has been taken to ensure accuracy, the user must refer to the actual wording of the documents referenced herein.

1	**GENERAL** Note: Unless noted otherwise all Building Code References are in Division B		
☐	a	Designer requirements	Div C - 1.2.1.1.; § 492-8.B.
☐	b	General Review Commitment Letter	Div C - 1.2.2.
☐	c	Green Roof Declaration form completed	§ 492-6.
☐	d	Voluntarily installed Green Roofs to comply with Toronto Green Roof Construction Std	§ 492-1.Definitions; § 492-4D
☐		***Exemptions to GR By-law***	*§ 492-5.*
☐	*e*	*All complete Building applications or complete site plan applications submitted prior to 1/31/2010.*	*§ 492-5.A.(1) & (2)*
☐	*f*	*Residential building or addition ≤ 6 storeys or height less than 20 m*	*§ 492.1. Def. & §492-5.B.,*
☐	*g*	*Industrial building or addition constructed prior to 1/31/2011*	*§ 492-5.C.*
☐	*h*	*Excluded areas from **Available Roof Space***	*§ 492-1.Definitions*
2	**EXITING & EGRESS**		
☐	a	Roof access	3.2.5.3.(1)
☐	b	Egress & access from roof, platform, podium	3.3.1.3.(2) - (4), (10)
☐	c	Egress roof enclosure. 2 egress if > 200 m2	3.3.1.3.(5) & (6)
☐	d	Fixed ladder access	3.6.1.5.(1)
☐	e	Exit/egress door openable from roof side without the use of a key	3.3.1.12.(2)
3	**FIRE SAFETY**		
☐	a	Protection of exit facilities	3.2.3.13
☐	b	Fire safety (clearance to combustibles)	§ 492-9.F.
☐	c	Wall exposed to another wall or adjoining roof	3.2.3.14 & 15.
4	**STRUCTURAL**		
☐	a	Design live load including snow, rain, maximum water level to bottom of scuppers/parapet drains.	§ 492-9.B., I, J; 4.1.5. & 4.1.6.
☐		- Snow piling from parapets, planters, height of plant/vegetative growth	4.1.6. NBC User Guide Commentary G
☐	b	Design dead loads of all materials [min soil DL 125 pcf (2,000 Kg/m^3) unless test report otherwise]	§ 492-9.B.2.(b), K. & 4.1.4.
☐	c	Scuppers or parapet drains clearly noted	§ 492-9.D. & 4.1.6.4.
☐	d	Wind uplift [Obtain engineer report especially where dynamic analysis is required for tall buildings)	§ 492-9.E. & 4.1.7.
☐	e	Roof occupancy - assembly occupant load ….- minimum 100 psf [4.8 kPa]	§ 492-9.G. & 4.1.5.5.
☐	f	Perimeter guards for roof occupancy	3.3.1.17.(1); 4.1.5.15. & 17
5	**GREEN ROOF CONSTRUCTION**		
☐	a	Anti-shear measures for slope stability [slopes in excess of 10° (17%)]	§ 492-9.C.
☐	b	Roof covering construction – see CAN/ULC S107-M (fire test for roof coverings)	§ 492-8 D; 3.1.15.1. & 2
☐	c	0.5 m veg free zone border, height of matured vegetation & min .5 m to combustible material	§ 492-9.F.
☐	d	Root barrier	§ 492-9.H.1.
☐	e	Architect/Engineer provide report on leakage test prior to installation of green roof	§ 492-9.H.2.
☐	f	Positive slope to drain & vegetation free border around drains	§ 492-9.I.
☐	g	Water retention mats/equivalent material	§ 492-9.J.
☐	h	Drainage layer [to comply with ASTM E2398-05]	§ 492-9.J.
☐	i	Growing media < 100 mm (report required confirming plant survivability)	§ 492-9.K.
☐	j	Plant selection requirements	§ 492-9.L.
☐	k	Irrigation measures to be provided	§ 492-9.M
☐	l	Maintenance plan complying with CSA S478-95 to be provided	§ 492-3 & 9.N.; 5.1.4.2.(3)
6	**WINDOW CLEANING**		
☐	a	Provision for window cleaning (roof >8 m above ground)	4.4.4.1.
7	**MECHANICAL**		
☐	a	Backflow prevention device with “severe hazard” classification for roof irrigation system	7.6.2.2.
8	**FEES**		
☐	a	Included in Building Permit fees	§ 492-7.A.
☐	b	Green roof stand alone permit application = *Green roof* area x applicable Service index	§ 492-7.B.

Anexo 4 – Green Roof Inspection Report Checklist. Office of the Chief Building Official, Toronto Building, City of Toronto. Consultado em 9 de Outubro de 2013. Disponível em http://www.toronto.ca/building/forms/Green_Roof_Inspection_Report_Checklist.pdf

TORONTO Building

Green Roof Inspection Report – Checklist

*This site review report may be sent directly to an inspector or faxed directly to the **District Inspection Office**.*

District Offices:
☐ North York ☐ Scarborough ☐ Toronto & East York ☐ Etobicoke York

Date (Day / Month / Year) | Permit No

For Enquiries dial 311 From outside the City of Toronto call: (416) 392-CITY (2489)

Upon completion of the installation of the Green Roof the architect or professional engineer shall submit to the inspector the verification that the installation is in conformance with City of Toronto By-Law No.583-2009: "Section 492-9. Toronto Green Roof Construction Standard: Mandatory Provisions."

Project Location

Street No.	Street Name	Unit No.

Testing

Immediately prior to installation of the Green Roof, the Architect or Engineer shall cause to be conducted one of the following leakage testing protocols, and submit a report documenting a successful test, signed by the Architect or Engineer, to the Chief Building Official:

☐ Flood Test ☐ Impedance Test ☐ Low Voltage Testing
☐ Electric Field vector mapping ☐ Infrared (IR) Thermal Imaging ☐ Moisture Sensors

Name of person/company conducting test:	Date of test:

Report documenting successful test has been submitted ☐ Yes ☐ No

Name of Architect/Engineer submitting report:	Phone No.: Business

Inspection

The design and construction of a Green Roof shall meet the City's minimum requirements for Green Roof construction (Toronto Municipal Code Ch. 492) while also meeting the Ontario Building Code (OBC) requirements. Any Green Roof assembly shall, as a minimum, consist of a root repellent system, a drainage system, a filtering layer, a growing medium and plants, and shall be installed on a waterproof membrane of an applicable Roof.

492-9		Yes	No	N/A
A.	Green Roof size and location in conformance with approved plans	☐	☐	
B.	Gravity Loads – the Green Roof gravity loads are as specified by the ASTM standard: "ASTM E2397.05 – Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads Associated with Green Roof Systems"	☐	☐	☐
C.	Slope Stability – those roofs whose slopes in excess of 10° (17%) that support Green Roof assemblies have incorporated anti-shear measures	☐	☐	☐
D.	Parapet Height and/or Overflow Scupper Locations – all parapet heights and/or overflow scupper locations are installed as per approved Green Roof plans and design.	☐	☐	☐
E.	Wind Uplift – all wind uplift criteria has been incorporated and confirmed by Architect or Engineer.	☐	☐	☐
F.	Fire Safety - vegetation free border zone abutting roof penetrations, intersecting walls, parapets, upturns or mechanical equipment is installed as required	☐	☐	☐
G.	Occupancy and Safety – Architect or Engineer confirmed that measures have been taken to assure occupancy safety if the use of the roof is to be made accessible to the public.	☐	☐	☐
H.	1) Waterproofing – installation of a root barrier has been installed in the vegetated roofing system area is installed.	☐	☐	☐
	2) Waterproofing – Architect or Engineer shall confirm that one of the leakage tests was carried out and a report submitted documenting a successful test.	☐	☐	☐
I.	Drainage – all the required drainage has been installed as per the submitted Green Roof design.	☐	☐	☐
J.	Water Retention – the required water retention mats or equivalents materials have been employed as required to promote vegetation growth.	☐	☐	☐
K.	1) Vegetation Performance – growing medium is at a minimum 100 mm, or report has been provided confirming that the engineered system as designed provides plant survivability:	☐	☐	☐
	2) report submitted	☐	☐	☐
L.	1) Plant Selection - the vegetation used on the Green Roof does not include any noxious weeds as defined in Ontario Regulation 1096 under the Weed Control Act:	☐	☐	☐
	2) Plant selection designed to cover no less than 80% of the vegetated roof within three years of the planting	☐	☐	☐
M.	Irrigation – the designed irrigation system has been installed and is functional for its intended purpose – to initiate and sustain the vegetation during the service life of the Green Roof	☐	☐	☐
N.	Maintenance Plan - Architect or Engineer shall confirm that a copy of the approved Maintenance Plan has been provided to the building's maintenance office/*building's operations group for their records and actions as required*	☐	☐	☐

Designer Information

Architect/Engineer Name		Company Name	
Street No. and Name			Apt./Unit No.
City	Province	Postal Code	Area Code and Telephone No. Business

Final Inspection

Based on periodic inspections and the leakage test undertaken I/we are confirming that the Green Roof construction has been undertaken in accordance with the City of Toronto By-Law No.583-2009: Section 492-9. Toronto Green Roof Construction Standard: Mandatory Provisions; while also meeting the minimum Ontario Building Code (OBC) requirements. In addition the required Maintenance Plan for the Green Roof, as per CSA-S478-95 "Guideline on Durability in Buildings" has been submitted to the building's operations group.

Print name ..... Signature ..... Date .....

December 24, 2010

Anexo 4 – Optigreen® – Greened Roof Checklist. (Optigreen®, 2013).

Inspection and subsequent measures

1. Preliminary remarks

Due to years of experience the experts working within the Optigreen Partner Association can determine immediately after the initial survey of the building whether and how the roof should subsequently be maintained, and whether further actions are required. Please answer the following questions beforehand:

2. Building details

- ⇢ Name of project: _____
- ⇢ Owner /contact person: _____
- ⇢ Year of completion: _____
- ⇢ Roof pitch: _____ degrees or _____ percent
- ⇢ Max. area load: _____ kg/m²
- ⇢ Roof area: _____ m² in _____ surfaces
- ⇢ Usage of the roof _____
- ⇢ Refurbishment planned: ☐ no ☐ yes, partial ☐ yes, complete

3. Location of the green roof

- ⇢ Roof height: _____ m
- ⇢ Access to the roof: _____
- ⇢ Anti-fall protection: ☐ no ☐ yes _____
- ⇢ Common rooms, sanitary facilities: _____
- ⇢ Storage: ☐ no ☐ yes
  ☐ lockable ☐ not lockable

4. Green roofing

- ⇢ Type of greening: ☐ Extensive ☐ Simple intensive ☐ Intensive
- ⇢ Layer build-up: ☐ single layer ☐ multi-layer
- ⇢ Type of vegetation: _____
- ⇢ Build-up height: _____ mm
- ⇢ State of vegetation: _____
- ⇢ State of build-up: _____

5. Roof membrane/root protection

- ⇢ Roof membrane (material): _____
- ⇢ Impervious/root resistant: leak proof? ☐ yes ☐ no
  root resistant in accordance with FLL? ☐ yes ☐ no
- ⇢ Height of upstand: _____ mm
- ⇢ State of upstands and seals, sealing of roof edge covers, seam sealing:
  ☐ good ☐ bad

6. Borders and safety paths

☐ vegetation barrier ☐ paving other: _____ condition: _____

7. Water and energy

- ⇢ Water supply by automatic irrigation: ☐ water accumulation ☐ float controlled ☐ sprinkler ☐ trickle system
- ⇢ Water connection: location: _____ pressure: _____ bar
- ⇢ Power connection, location, voltage: _____

8. Technical installations/details

- ⇢ Gutters: ☐ no ☐ yes _____
  heated: ☐ yes ☐ no
- ⇢ No. of outlets: _____ pcs.
- ⇢ Drainage condition: _____

9. Other

- ⇢ Domelights/RWS: ☐ no ☐ yes, condition: _____

Anexo 4 – Optigreen® – Non-greened Roof Checklist. (Optigreen®, 2013).

Testing for greenability

1. Preliminary remarks

Due to years of experience the experts working within the Optigreen Partner Association can determine immediately after the initial survey of the building whether and under what conditions the roof in question can be greened. If necessary, the next step will involve further investigations by a structural engineer to ascertain loading calculations. Please answer the following questions to provide as much information as possible about the building before the first survey:

2. Building details

- Name of project: _____
- Owner/contact person: _____
- Year of completion: _____
- Roof pitch: _____ degrees or _____ percent
- Max. area load: _____ kg/m²
- Roof area: _____ m² in _____ surfaces
- Roof membrane (material): _____
- Impervious/root resistant: leak proof? ☐ yes ☐ no
  root resistant according to FLL ☐ yes ☐ no
- Cause of damage: _____
- Refurbishment planned: ☐ no ☐ yes, partial ☐ yes, complete
- Ballast layer: ☐ no ☐ yes _____ mm
- Height of roof: _____ m
- Anti-fall protection: ☐ no ☐ yes _____

3. Further details

- What are your ideas/plans regarding the green roof? _____
- Is the structure stable and capable of bearing a load (surface load)? ☐ yes ☐ no
- Are there any plans for other use (e.g. terrace)? ☐ no ☐ yes _____
- Does the roof have the required heights? What are the upstand heights? _____ mm
- Is the existing waterproofing layer suitable for applying further membranes/root protection systems? ☐ yes ☐ no
- Is the current thermal insulation suitable to relevant guidelines ☐ yes ☐ no
- Is additional thermal insulation required? ☐ yes ☐ no
- Is a fall required? ☐ yes _____ percent ☐ no
- Are there enough drainage points? ☐ yes _____ how many? ☐ no
- Are there any local regulations to be considered? ☐ yes ☐ no

4. Leak location in the event of damage

If partial refurbishment is required due to a leaking roof membrane, it is to locate the leaks using the electro-impulse method. This enables leaks to be located relatively quickly.

5. Keyword "Guarantee"

The Optigreen Association offers a project-specific extended 10 year guarantee on materials installed by an approved Optigreen partner.

Anexo 5

Classificação das regiões climáticas de Lisboa.

Anexo 5 – Classificação das regiões climáticas de Lisboa. (Alcoforado et al, 2006)

Unidade	Tipo de ocupação	Classes de ventilação	% da cidade ocupada	Principais áreas na cidade	Comportamento aerodinâmico	Comportamento térmico
1	Elevada densidade de ocupação	Vertentes Planalto Sul de Lisboa Topos	15	Área central Benfica Lumiar	Alta rugosidade (z0≥1m); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor muito frequente e de intensidade máxima
2	Espaços desocupados ou de fraco nível de ocupação (média e baixa densidade)	Vertentes Planalto Sul de Lisboa Topos	19	Área oriental Benfica Belém/Alcântara Espaços intersticiais próximos do centro	Rugosidade média ou baixa (z0=0.5 – 1m); redução moderada da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
3	Espaços verdes (E.V.- excluindo E.V. não arborizados no Planalto Norte de Lisboa)	Vertentes, Planalto Sul de Lisboa, Planalto Norte de Lisboa (E.V. arborizados), Topos	19	Monsanto, Parque Eduardo VII e Cidade Universitária	Variável (dependente da arborização)	Áreas frescas (tanto de dia como de noite)
4	Elevada densidade de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	2	Periferia Norte	Alta rugosidade (z0≥1m); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
5	Densidade média de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	16	Periferia Norte	Rugosidade média ou baixa (z0=0.5 – 1m); redução moderada da velocidade média do vento	Variável ou ilha de calor moderada
6	Espaços desocupados ou de baixa densidade de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	14	Periferia Norte	Baixa rugosidade (z0< 0.5); fraca redução da velocidade do vento	Variável
7	Diversa	Frente ribeirinha exposta às brisas	10	Áreas ribeirinhas oriental e meridional	Diversa; áreas particularmente expostas às brisas	Dependente da exposição e da direcção do vento
8	Diversa	Fundos de vale	6	Diversa	Diversa; áreas de canalização do vento; drenagem de ar frio em noites de arrefecimento radiativo	Condições extremas (dependentes da ocupação)

Fig. A.5.1 – Caracterização dos Climatopos de Lisboa. (Fonte: Alcoforado et al, 2006)

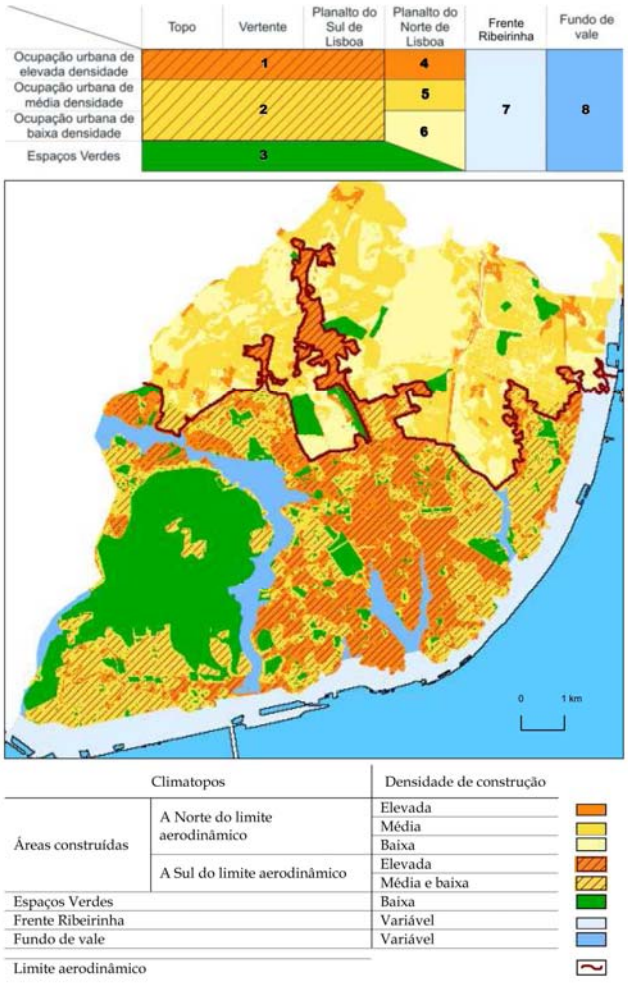


Fig. A.5.2 – Climatopos de Lisboa. (Fonte: Alcoforado et al, 2006)