

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM TELHADOS VERDES**

Autor: Marcelo Gomes de Almeida
Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov
Coorientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Setembro/2020

Marcelo Gomes de Almeida

**ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM TELHADOS VERDES**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov

Coorientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2020

A447a	<p>Almeida, Marcelo Gomes de. Análise de procedimentos de manutenção e manifestações patológicas em telhados verdes [recurso eletrônico] / Marcelo Gomes de Almeida. – 2020. 1 recurso online (222 f.: il., color.) : pdf.</p> <p>Orientadora: Cristiane Machado Parisi Jonov. Coorientador: Adriano de Paula e Silva.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices: 205-222.</p> <p>Bibliografia: f. 192-204. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Edifícios sustentáveis - Projetos e construção - Teses. 4. Cobertura verde - Teses. 5. Patologia de construção - Teses. 6. Durabilidade (Engenharia) - Teses. I. Parisi Jonov, Cristiane Machado. II. Silva, Adriano de Paula e. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 691(043)</p>
-------	--

MARCELO GOMES DE ALMEIDA

**"ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM TELHADOS VERDES"**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 29 de setembro de 2020.

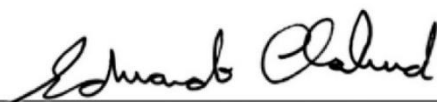
BANCA EXAMINADORA



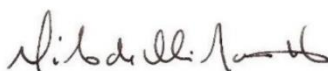
Profa. Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov
(Orientadora)
DEMC / UFMG



Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
(Coorientador)
DEMC / UFMG



Prof. Dr. Eduardo Chahud
DEMC / UFMG



Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento
EHR / UFMG

Os referidos membros e o aluno participaram da defesa por meio de videoconferência.

Dedico este trabalho a minha linda filha Liz de Almeida, que me ensina mais da vida e me aclara um mundo repleto de cores vibrantes. Eu te amo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Ele, pela luz guia e mão sempre estendida nos momentos difíceis.

A minha família, em especial minha mãe, esposa, filha, irmãos e sobrinhos pela união, compreensão e apoio.

Ao meu pai e irmão (in memoriam) por serem referência e inspiração.

O maior de todos os agradecimentos vai para minha Professora Orientadora, Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov, pelo companheirismo, dedicação e ensinamentos, sempre com paciência e compreensão nos meus momentos de dificuldade e ansiedade, me proporcionando um dos momentos de maior aprendizado da minha vida. Eternamente grato por compartilhar comigo seu conhecimento e sabedoria. Meu muito obrigado!

Agradecimento igualmente grande para o meu Professor Coorientador, Dr. Adriano de Paula e Silva pela dedicação, receptividade, trocas de experiências e motivação. Obrigado pela generosidade, me permitindo absorver um pouco de seu conhecimento!

Aos membros da Banca Examinadora, Professores Dr. Eduardo Chahud e Dr. Nilo de Oliveira Nascimento, pelas importantes contribuições ao aprimoramento do trabalho.

Agradecimento super especial para a Professora Dra. Maria Teresa Paulino Aguiar por me mostrar, por meio de seu contagiante modo de ensinar, novos horizontes nesse grande universo da engenharia, ao Professor Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco pela inspiração através de suas colocações sempre com mestria e para a Professora Dra. Maria Carmen Couto Ribeiro pelo grande incentivo e estímulo.

Gratidão aos professores(as): Dra. Adriana Guerra Gumieri, Dr. Aldo Giuntini de Magalhães, Dr. Cícero Murta Diniz Starling, Dra. Danielle Meireles de Oliveira, Dr. Eduardo Marques Arantes, Dr. Francisco Carlos Rodrigues, Dr. José Márcio Fonseca Calixto, Dr. Paulo Roberto Pereira Andery, Dr. Roberto Braga Figueiredo, Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

À Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, especialmente ao Departamento de Engenharia de Materiais e Construção - DEMC, extensivo a toda equipe administrativa e demais professores.

Agradecimento também à Marina Vasconcelos de Paula e Silva, pela revisão da tradução de texto para língua inglesa e à Gerência de Licenciamento de Comércio e Prestação de Serviço (GELCP) da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Belo Horizonte (SSMA-PBH).

A todos, o meu sincero agradecimento!

“Não temas, porque Eu sou contigo; não te assombres, porque Eu sou teu Deus; Eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.”

Isaías 41:10

*Ei você! aí fora no frio
Não se entregue sem antes lutar
Ei você! com seu ouvido no muro
Esperando por alguém para pedir ajuda
Ei você! aí fora na estrada
Fazendo o que lhe disseram
Ei você!
Não me diga que não há nenhuma
esperança
Junto nós permanecemos, divididos nós
cairemos*

Roger Waters
Trecho traduzido da música “Hey You” da
banda Pink Floyd

RESUMO

Os telhados verdes são uma interessante alternativa para minimizar os impactos ambientais causados pela construção civil em grandes centros urbanos. Esta tecnologia, além de harmonizar o ambiente construído com a natureza, proporciona estética visual, melhoria no conforto térmico e acústico na edificação, oferece espaço para lazer e convivência, habitat natural para animais e plantas e é capaz de mitigar problemas típicos das grandes concentrações urbanas, tais como a poluição do ar, o aumento da temperatura pelo efeito da ilha de calor e ainda reduzir o escoamento superficial de águas pluviais, diminuindo os problemas com inundações. Apesar de muitos estudos realizados abordando as técnicas construtivas e suas vantagens para a edificação, bem como para seu entorno, pouco se estudou sobre as ações de gestão e manutenção e possíveis manifestações patológicas que podem acometer a edificação com este sistema. No Brasil a tecnologia ainda é pouco utilizada e, portanto, diante da pouca experiência nacional surge a motivação para este estudo que resultou em um conhecimento sobre os aspectos para implantação e principalmente, pós implantação, contribuindo para a consagração desta técnica em nosso país. Para tanto, realizou-se um levantamento do estado da arte e dos procedimentos necessários após sua implantação no âmbito de sua gestão e manutenção, com posterior incursão pelas principais manifestações patológicas que podem acometer o telhado verde e conseqüentemente a edificação na qual está implantado, bem como pelas técnicas e práticas construtivas recomendadas por publicações internacionais. Em seguida aplicou-se o método de pesquisa de campo em edificações dotadas de telhado verde na cidade de Belo Horizonte, MG, Brasil, conhecendo as técnicas construtivas e as ações de gestão e manutenção empregadas e averiguação e identificação das possíveis anomalias relatadas na literatura. Os estudos de campo foram realizados entre os dias 01/outubro/2018 e 20/agosto/2019 e foram constatados problemas como morte de vegetação, compactação do substrato, áreas sem cobertura vegetal, avanço de vegetação, raízes e rizomas em áreas protegidas, umidade ascendente e negativa e fissuras em paredes e platibandas. Apesar de a literatura apontar as vedações horizontais como sendo o segundo elemento construtivo a apresentar maior número de anomalias numa edificação, as inspeções *in loco* mostraram que os problemas mais recorrentes nos telhados

verdes se concentram essencialmente na própria vegetação e não na cobertura propriamente dita, porém, a falta de inspeções periódicas com planos de manutenções preditivas, preventivas e corretivas pode propagar anomalias para a construção. Tais procedimentos são de suma importância para a longevidade do sistema, o que eleva os custos de sua implantação.

Palavras-chave: Telhado verde. Tecnologia da construção. Anomalias. Manifestações patológicas. Gestão e manutenção de telhados verdes. Durabilidade. Vida útil. Desempenho.

ABSTRACT

Green roofs are an interesting alternative to minimize the environmental impacts caused by civil construction in large urban centers. This technology, in addition to harmonizing the built environment with nature, provides visual aesthetics, improves thermal and acoustic comfort in the building, offers space for leisure and coexistence, grants natural habitat for animals and plants and is able to mitigate typical problems from large urban concentrations, such as air pollution and temperature increase due to the heat island effect. This technology can also reduce the surface runoff of rainwater, reducing issues with floods. Despite many studies addressing construction techniques and their advantages for the building, as well as for its surroundings, little has been studied about management and maintenance actions and possible pathological manifestations that can affect buildings with this system. In Brazil, this technology is still little used and, therefore, given the limited national experience, the motivation for this study arises, resulting in knowledge of the aspects for construction and post construction, contributing to the adoption of this technique in our country. For this purpose, a survey of the state of the art and the necessary procedures was carried out after its construction within the scope of its management and maintenance, with subsequent studies of the main pathological manifestations that can affect the green roof and consequently the building in which it is placed, as well as the construction techniques and practices recommended by international publications. Later, the field research method was applied to buildings with green roofs in the city of Belo Horizonte, MG, Brazil, with knowledge of the construction techniques and management and maintenance actions used, investigating and identifying possible anomalies reported in literature. Field studies were carried out between 01 / October / 2018 and 20 / August / 2019 and problems such as vegetation death, substrate compaction, areas without vegetation cover, vegetation advance, roots and rhizomes in protected areas, ascending and negative humidity and fissures in walls and in plateaus were found. Although the literature points to horizontal fences as the second constructive element to present the largest number of anomalies in buildings, on-site inspections have shown that the most recurrent problems in green roofs are concentrated essentially in the vegetation and not on the roof itself. However, the lack of periodic inspections with predictive, preventive and corrective maintenance plans can spread anomalies to the

construction. Such procedures are essential for the system's longevity, raising the costs of its implementation.

Keywords: Green roof. Construction technology. Anomalies. Pathological manifestations. Management and maintenance of green roofs. Durability. Service-life. Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Exemplo de uma cobertura com várias funções que vão além da simples vedação horizontal	25
Figura 3.1 - Diferentes possibilidades de criar e integrar sistemas de vegetação em edifícios	30
Figura 3.2 - Telhado verde sobre viaduto na MG 050 - Km 75 na cidade de Mateus Leme em Minas Gerais	31
Figura 3.3 – Ilustração do zigurate de Ur baseada nas descobertas arqueológicas de Charles Leonard Woolley	32
Figura 3.4 – Ilustração dos Jardins Suspensos da Babilónia baseada nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey	33
Figura 3.5 - Representação dos jardins suspensos da Babilónia de Maarten van Heemskerck (1498-1574).....	33
Figura 3.6 – Claustro do mosteiro Mont Saint-Michel	34
Figura 3.7 - Villa Savoye construída em 1928 na cidade de Poissy na França. Vista geral da cobertura e rampa de acesso ao terraço. Foto: Carlos Alberto Maciel ...	35
Figura 3.8 – Terraço do Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro	36
Figura 3.9 - Edifício Matarazzo em São Paulo	36
Figura 3.10 - Centro de Promoção da Saúde Unimed, em Belo Horizonte.....	37
Figura 3.11 - Número de publicações por ecorregiões terrestres (entre os anos de 2001 e 2012)	38
Figura 3.12 - Telhado verde intensivo com grande variedade de espécies e tamanhos de plantas.....	39
Figura 3.13 – Parkroyal Hotel em Singapura. Exemplo de telhado verde do tipo intensivo	40
Figura 3.14 - Lookout House. Exemplo de telhado verde extensivo	41
Figura 3.15 - Sky Garden House. Exemplo de telhado verde semi-intensivo	42
Figura 3.16 - Profundidade recomendada do substrato para diferentes tipos de vegetação, de acordo com a FLL.....	44
Figura 3.17 - Relação entre profundidade do substrato e vegetação de acordo com Manual do Telhado Verde Sueco.....	45
Figura 3.18 – Sistema modular	46
Figura 3.19 – Sistema modular com substrato e vegetação já desenvolvida.....	46

Figura 3.20 - Sistema de Manta Vegetativa pré-cultivada.....	47
Figura 3.21 – Esquema típico das camadas de um telhado verde.....	47
Figura 3.22 - Isolante térmico com placas de poliestireno extrudido (XPS) do tipo cobertura invertida	49
Figura 3.23 – Camadas de um telhado verde com isolamento térmico a) Método tradicional; b) Cobertura invertida.	50
Figura 3.24 - Coletor de águas pluviais.....	52
Figura 3.25 - Balanço energético de um telhado verde.....	57
Figura 3.26 - Diferença entre as temperaturas externa (Text), ambiente sob o telhado verde (Tbab) e ambiente sob o telhado convencional (Tconv) e 26°C no dia 26/11/2015	58
Figura 3.27 – Fenômenos que geram o efeito ilha de calor nas concentrações urbanas	59
Figura 3.28 – Efeito ilha de calor urbano. O denso desenvolvimento urbano eleva a temperatura ambiente em comparação com as áreas circundantes.....	59
Figura 3.29 – Quantidade de escoamento retido por um telhado convencional e um telhado verde	63
Figura 3.30 - Dispositivo de retenção de água.....	64
Figura 3.31 - Desenho esquemático da instalação do espaçador de retenção de água da chuva.....	64
Figura 3.32 - Limitadores de escoamento ajustáveis para uma taxa de fluxo de volume predefinida.....	65
Figura 3.33 - Clube de golf com telhado verde	67
Figura 3.34 - Cobertura com telhas de fibrocimento e inclinação de 5% recoberto de vegetação no sistema de telhado verde tropical experimental hidropônico implantado na favela do Arará no Rio de Janeiro	68
Figura 3.35 - Cultivo de hortaliças em coberturas de blocos habitacionais em Liuzhou, Guangxi na China.....	69
Figura 3.36 - Substrato composto de seixo rolado e fragmentos de tijolo e telha .	70
Figura 3.37 - Interação de painéis de energia solar em telhado verde	70
Figura 3.38 – Seleção de plantas com potencial para telhado verde extensivo na Zona da Mata de Pernambuco: a) <i>Calissia repens</i> ; b) <i>Clorophytum comosum</i> ; c) <i>Ophiopogon jaburan</i> ; d) <i>Paspalum leptan 01</i> ; e) <i>Portulaca grandiflora</i> ; f) <i>Sanseverina trifasciata</i>	79

Figura 3.39 – Principais fase do processo construtivo da edificação	82
Figura 3.40 – A inspeção predial como ferramenta da engenharia diagnóstica....	86
Figura 3.41 – Manutenção e vida útil	86
Figura 3.42 - Ação do ambiente em uma estrutura de concreto armado	92
Figura 3.43 – Mecanismo de carbonatação do concreto podendo gerar corrosão da armadura.....	99
Figura 3.44 – Velocidade de corrosão de um metal exposto à atmosfera, em função da umidade relativa.....	102
Figura 3.45 - Movimentações reversíveis e irreversíveis devidas à variação do teor de umidade	103
Figura 3.46 – Ação dos agentes atmosféricos na degradação dos materiais poliméricos.....	108
Figura 3.47 - Lei de Sitter (1984)	112
Figura 3.48 - Colapso da estrutura devido à sobrecarga	117
Figura 3.49 - Equipamentos utilizados para transporte vertical de materiais.	119
Figura 3.50 - Sistema contra queda para trabalhos em altura	120
Figura 3.51 - Guarda corpo para proteção contra queda	120
Figura 3.52 - Ponto de ancoragem para proteção contra quedas em trabalhos em altura.....	121
Figura 3.53 - Faixas separadoras, livres de vegetação.....	122
Figura 3.54 - Ação do vento em um edifício alto	123
Figura 3.55 - Detalhe de dreno de segurança.....	126
Figura 3.56 - Faixa de proteção de borda. Sechelt Justice Service Centre	128
Figura 3.57 - Limitadores de substrato e material granular a) linear; b) canto interno; c) canto externo.	128
Figura 3.58 - Detalhe da aplicação do limitador/separador de substrato e material granular em telhados verdes.....	128
Figura 3.59 - Ancoragem de árvore	129
Figura 3.60 - Sistema de ancoragem em árvores	130
Figura 3.61 – Faixas corta fogo em telhado verde	130
Figura 3.62 – Elemento contra deslizamentos em telhados com inclinação superior a 20°.....	131
Figura 3.63 - Sistema para combater forças de cisalhamento em telhados verdes inclinados	131

Figura 3.64 - Elemento para perímetro para telhado verde inclinado	132
Figura 3.65 – Exemplos de utilização de chapas para arremates da manta impermeabilizante com as platibandas	133
Figura 3.66 – Telhado verde com problemas de encharcamento	140
Figura 3.67 - Sistema de rega manual	142
Figura 3.68 – Sistema de irrigação automatizado	142
Figura 4.1 - Ficha 1: Caracterização do telhado verde	145
Figura 4.2 - Ficha 2: Inspeção da edificação com telhado verde	146
Figura 4.3 - Fluxograma das atividades da pesquisa realizada	147
Figura 5.1 – Benefícios do telhado verde para o edifício, para a cidade e para o meio ambiente.....	151
Figura 5.2 – Fatores condicionantes para a construção de um telhado verde	160
Figura 5.3 - Mecanismos de possíveis ingressos de água em elementos de uma edificação com telhado verde.....	162
Figura 5.4 - Remoção de massa morta e replantio de mudas	168
Figura 5.5 – Manchas nuas.....	172
Figura 5.6 - Abafamento do sistema de drenagem pela vegetação do entorno..	172
Figura 5.7 – Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem.....	172
Figura 5.8 - Abafamento do sistema de irrigação.....	173
Figura 5.9 - Umidade ascendente e/ou por condensação.....	173
Figura 5.10 - Umidade ascendente e/ou por condensação.....	173
Figura 5.11 - Umidade ascendente e fissura na interface manta/reboco	174
Figura 5.12 - Morte de vegetação	174
Figura 5.13 - Morte por ressecamento	174
Figura 5.14 - Telhado verde extensivo com problemas de ressecamento e implantação de novo sistema de irrigação por gotejamento	175
Figura 5.15 - Vegetação intrusa por falta de manutenção periódica	175
Figura 5.16 - Umidade de infiltração negativa.....	175
Figura 5.17 - Acúmulo de detritos por ausência ou falha em manutenções periódicas	176
Figura 5.18 – Distanciamento da vegetação dos planos verticais com material granular	176
Figura 5.19 - Lastro de material granular no entorno das saídas de drenagem..	177

Figura 5.20 – Dispositivos de ancoragem para segurança em trabalho à altura (Conforme orientações da NR18 e NR35)	177
Figura 5.21 - Vegetação de porte maior promove a proteção contra insolação e ventos diretos.....	179
Figura 5.22 - Recursos que promovem a proteção contra insolação e ventos diretos nos telhados verdes	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação de telhados verdes de acordo com o tipo de uso, fatores de construção e requisitos de manutenção.....	43
Tabela 3.2 - Relação porcentagem X angulação nas inclinações de telhados	48
Tabela 3.3 - Causas da deterioração das estruturas	91
Tabela 3.4 – Exigências técnicas de um sistema de impermeabilização de cobertura	111
Tabela 3.5 - Exigências a serem satisfeitas pelos telhados verdes	118
Tabela 3.6 – Pontos específicos numa cobertura e critérios executivos	125
Tabela 3.7 - Tarefas comuns de manutenção em telhados verdes.....	136
Tabela 3.8 - Procedimentos de manutenção para telhado verde situado em Hong Kong.....	138
Tabela 4.1 - Características dos telhados verdes inspecionados	149
Tabela 5.1 - Tabela - Estudos relativos à redução de temperatura na edificação com telhado verde	151
Tabela 5.2 - Estudos relativos à retenção e qualidade de águas pluviais escoadas e retidas no telhado verde.....	154
Tabela 5.3 – Normas técnicas, diretrizes, manuais e guias sobre telhado verde no mundo	155
Tabela 5.4 - Possíveis manifestações patológicas em telhados verdes	162
Tabela 5.5 – Causas prováveis e origens das prováveis anomalias em telhados verdes	165
Tabela 5.6 - Frequência de ações de gestão, inspeção e manutenção em telhado verde de acordo com vários autores	169
Tabela 5.7 - Resumo dos problemas patológicos encontrados nas inspeções...	171
Tabela 5.8 - Frequência de manutenção nos telhados verdes visitados.....	178
Tabela 5.9 - Escopo de projeto detalhado de um sistema de telhado verde para implantação com a indicação de cada agente envolvido no processo.....	180

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Nacional de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris (França)
DIN	Deutsches Institut für Normung, Berlin (Alemanha)
DIN	Instituto de Normas Alemão (Deutsches Institut für Normung)
EM	Normas Europeias
EPDM	Monómero de etileno-propileno-terpolímero, classe M
EPS	Poliestireno expandido ou extrudado
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Sociedade de pesquisa sobre paisagismo e desenvolvimento da paisagem)
GELCP	Gerência de Licenciamento de Comércio e Prestação de Serviços
IGRA	International Green Roofs Association
ISSO	International Organization for Standardization
MEG	Modern Extensive Greenroof
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
PEAD	Polietileno de alta densidade
PVC	Policloreto de vinila
RO	Runoff (mm ano ⁻¹)
TPO	Termoplástico de Poliolefina
TV	Telhado verde
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UV	Ultravioleta
XPS	Poliestireno extrudado

LISTA DE SÍMBOLOS

C_3A	Aluminato tricálcico
μ	Micro
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de cálcio – Portlandita
C-S-H	Silicatos hidratados
$CaSO_4$	Sulfato de Cálcio Na_2SO_4 Sulfato de Sódio $MgSO_4$ Sulfato de Magnésio
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
H_2S	Gás Sulfídrico ou Sulfeto de Hidrogênio
HS^-	Sulfeto
S^0	Enxofre Elementar
SO_4^{2-}	Sulfato
SO_2	Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
EPÍGRAFE.....	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xx
SUMÁRIO	xxi
1 INTRODUÇÃO	24
2 OBJETIVO	27
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1 Construção civil, impactos ambientais e o desenvolvimento de alternativas mitigadoras	28
3.2 Telhado verde.....	30
3.3 Breve histórico de telhado verde.....	32
3.4 Tecnologia do sistema de telhado verde.....	37
3.4.1 Tipologias de telhado verde	39
3.4.2 Sistema construtivo	45
3.5 Potencialidades do sistema de telhado verde	54
3.5.1 Conforto térmico no interior da edificação	55
3.5.2 Melhoria do microclima em grandes concentrações urbanas	58
3.5.3 Proteção do sistema de impermeabilização das coberturas das edificações.....	61
3.5.4 Gestão de águas pluviais	61
3.5.5 Potencial de purificação do ar	65
3.5.6 Desempenho acústico.....	66
3.5.7 Estética, utilização, saúde humana e habitat para flora e fauna	67

3.5.8	Outros benefícios dos telhados verdes	69
3.6	Referências técnicas, diretrizes, manuais e guias	71
3.7	Dificuldades e desvantagens	73
3.8	Telhado verde no Brasil	76
3.9	Plantas para telhado verde nos trópicos	77
3.10	Patologia das construções	80
3.10.1	Desempenho, durabilidade e vida útil.....	82
3.10.2	Engenharia diagnóstica em edificações	83
3.10.3	Inspeção predial.....	85
3.10.4	Degradação dos materiais de construção	88
3.10.5	Degradação das estruturas de concreto armado.....	89
3.10.6	Deterioração do concreto	93
3.10.7	Deterioração da armadura	98
3.10.8	Deterioração das estruturas de aço.....	100
3.10.9	Deterioração de alvenarias	102
3.10.10	Deterioração das obras em madeira.....	105
3.10.11	Degradação de polímeros.....	108
3.11	Manifestações patológicas em telhado verde	109
3.11.1	Anomalias pela ação da água	113
3.11.2	Anomalias por enraizamento nos materiais de construção.....	116
3.11.3	Anomalias devido à sobrecarga	116
3.12	Exigências de desempenho de telhado verde.....	117
3.13	Requisitos técnicos e detalhes construtivos.....	118
3.13.1	Disponibilidade adequada de acesso	118
3.13.2	Segurança para trabalhos em altura	120
3.13.3	Segurança contra o fogo	121
3.13.4	Segurança contra o vento	123
3.14	Aspectos de projeto utilizados como estratégia para inibir a ocorrência de anomalias em telhado verde	124

3.15	Gestão e manutenção de telhado verde	134
3.15.1	Controle do sistema de impermeabilização	139
3.15.2	Controle do sistema de drenagem e camada drenante	139
3.15.3	Poda	141
3.15.4	Irrigação.....	141
3.15.5	Fertilização.....	143
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	144
4.1	Definição da amostra de edificações inspecionadas.....	148
4.2	Inspeções em edificações com telhado verde.....	148
5	RESULTADOS.....	150
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	184
7	CONCLUSÕES	186
8	LIMITAÇÕES DESTE ESTUDO E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS .	190
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192
	APÊNDICE A - Ficha 1: Caracterização do telhado verde	205
	APÊNDICE B - Ficha 2: Inspeção da edificação com telhado verde.....	214

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil contribui de maneira significativa para a degradação do meio ambiente, no entanto a continuidade e frequência de suas atividades são necessárias, sua desaceleração não deve ser uma estratégia de redução de impactos, esta ótica não é viável e nem desejável. Entretanto, a transformação do ambiente natural em ambiente construído requer aprimoramento das práticas tradicionais com desenvolvimento de tecnologias de baixo impacto e estratégias mitigadoras (SPENCE; MULLIGAN, 1995). Em virtude disso surgem novas tendências de design e projetos, materiais inovadores e modernas técnicas e práticas construtivas. Porém, o desafio é ainda maior, exigindo em outra linha de frente, ações coordenadas e conjuntas com políticas públicas contundentes e eficientes, capazes de avançar contra a falta de planejamento urbano, crescimento acelerado e desordenado e garantir a aplicação adequada da engenharia com vistas a resolver os amplos e comuns problemas socioambientais típicos da urbanização.

Com relação aos problemas resultantes das grandes concentrações urbanas pode-se citar, dentre outros, a impermeabilização do solo que provoca aumento do escoamento superficial das águas pluviais e conseqüentemente as inundações, o aumento da temperatura média pelo fenômeno microclimático conhecido como ilha de calor, a poluição do ar e a poluição visual. Uma das soluções construtivas mais viáveis para amenização destes problemas é a criação de ilhas verdes.

Nesse contexto, os telhados verdes emergem como uma importante e viável alternativa com o poder de transformar grandes extensões de vedações horizontais de edifícios em áreas revestidas de vegetação.

Embora o termo “telhado verde” não caracterizar adequadamente o sistema construtivo foco deste trabalho, será adotado, em consonância com a denominação mais comum na literatura. Porém, impende ressaltar que a designação mais adequada seria “coberturas ajardinadas”, “coberturas vegetadas” ou “coberturas vivas”, isso porque a palavra “verde” pode ter uma conotação mais abrangente, podendo definir também, sistemas sustentáveis em que não necessariamente haja

o emprego da vegetação. Na literatura pode-se ainda encontrar outros termos como “cobertura vegetal”, “eco-cobertura” ou “cobertura ecológica”.

Os TV's (telhados verdes) são capazes não só de desempenhar melhoria ambiental no meio urbano, contribuindo para o microclima ao mitigar os efeitos da ilha de calor, da poluição visual e sonora, contribui também para o regime hídrico (SANTOS *et al.*, 2013) e retenção de águas pluviais e para a qualidade do ar devido à retenção de partículas suspensas e de remoção de poluentes atmosféricos típicos de grandes cidades (YANG; YU; GONG, 2008), acrescenta-se ainda uma extensa gama de funções para a melhoria no interior da edificação, como conforto térmico (KUMAR; KAUSHIK, 2005) e acústico (RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2011), economia de energia (TSELEKIS, 2012), bem como podem proporcionar áreas antes inutilizáveis ou subutilizáveis em espaços de lazer e convivência e servir de habitat natural para plantas e animais.

Como dito, as coberturas dos edifícios geralmente são subutilizadas, porém têm grande potencial de utilização. Notoriamente já superaram as suas exigências e preocupações iniciais e sua função de simples sistema de vedação contra as intempéries foi ultrapassada (FIGURA 1.1).

Figura 1.1 - Exemplo de uma cobertura com várias funções que vão além da simples vedação horizontal



Fonte: ZinCo (2017).

Com a evolução da sociedade, novos requisitos e rigor foram impostos às coberturas e com isso aumentou-se, dentre outros aspectos, a importância com os cuidados de inspeções periódicas, manutenções preventivas e imediatas intervenções com terapias de reabilitação quando acometidas por manifestações patológicas, de forma a impedir maiores agravos em toda a edificação (GARCEZ, 2009). Com o emprego do sistema de telhado verde nas coberturas, essas passam a exigir cuidados extras e mais específicos, com inspeções periódicas e planos de manutenções preventivas e quando necessário, corretivas para garantir seu desempenho e durabilidade e ainda prevenir o surgimento e propagação de anomalias na edificação.

Apesar de muitos estudos já realizados abordando técnicas construtivas e aspectos ambientais dos TV's, pouco se estudou com relação à ciência da patologia, durabilidade e desempenho das construções associadas a esta tecnologia, deixando um vasto campo a ser estudado e preenchido nesta área. A pouca tradição e um reduzido histórico de construções com este sistema no Brasil resulta em uma deficiência importante no que diz respeito ao seu comportamento no decorrer do tempo, necessitando ser amplamente investigado e estudado.

Diante do exposto, este trabalho pretende contribuir na esfera acadêmica, técnica e também na área social ao gerar um histórico comportamental da tecnologia para promover a evolução do sistema, através do fornecimento de subsídios para elaboração de projetos, dados para adoção de técnicas construtivas e ações de manutenção preventiva, com vistas a obtenção de durabilidade e desempenho satisfatórios. Questões como os efeitos da ação do vento, insolação e sua influência na dilatação térmica dos componentes, agressão das raízes e rizomas à camada de proteção gerando problemas com a estanqueidade do sistema de impermeabilização, entupimento de ralos, ressecamento e morte de vegetação e proliferação de vegetação intrusa são abordados no trabalho. Foi realizada pesquisa bibliográfica e feito levantamento de anomalias com o objetivo de identificar os possíveis problemas patológicos decorrentes do sistema e também investigação da ocorrência dos mesmos em inspeções de campo.

2 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é a análise dos procedimentos de manutenção e gestão de telhados verdes em edificações. O projeto também tem como objetivo geral a identificação de eventuais manifestações patológicas decorrentes da implantação desse sistema nos edifícios.

Para tanto, foi necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Descrever as tipologias de telhados verdes, seus sistemas construtivos e suas potencialidades, bem como apresentar as dificuldades e desvantagens da implantação desse sistema, e espécies de plantas para telhados verdes nos trópicos;
- Analisar normas e manuais técnicos, diretrizes e guias para implantação e manutenção de sistemas de telhados verdes nos diversos países onde esta tecnologia é amplamente disseminada;
- Apresentar as manifestações patológicas decorrentes da implantação de telhados verdes nas edificações, bem como ações de gestão e manutenção nestes sistemas, suas necessidades e periodicidades;
- Visitar edificações contendo telhados verdes para conhecimento da tecnologia de implantação adotada, dos procedimentos de manutenção e gestão desses sistemas, e identificar a existência de eventuais manifestações patológicas;
- Propor escopo de projeto detalhado para implantação de telhado verde.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo discorre sobre o estado da arte de sistema de telhado verde, apresenta seu histórico no mundo, tipologias, principais técnicas construtivas, suas vantagens e desvantagens, abordando ainda aspectos sobre a sua construção.

3.1 Construção civil, impactos ambientais e o desenvolvimento de alternativas mitigadoras

É notório que o setor da construção civil gera grande impacto ambiental, seja através de emissões poluidoras na atmosfera, seja pelo emprego de recursos para produção de matéria-prima e geração de fontes de energia. Todavia, não se restringe aos setores produtivos primários, a transformação do ambiente natural em ambiente construído é responsável por grandes problemas ambientais nas concentrações urbanas. Assim sendo, é preciso considerar também que por de trás dos problemas ambientais gerados pelas atividades extrativistas e produtivas da construção civil, há as consequências geradas pela transformação física do meio ambiente, o que provoca problemas típicos das urbanizações como os efeitos climáticos, poluição visual e do ar, desequilíbrio hídrico e ainda inundações diante da impermeabilização proporcionada pelas construções e pavimentação, todos impactam diretamente a vida do ser humano. Spence e Mulligan (1995) dizem que as atividades da construção civil não somente provocam transformações irreversíveis ao ambiente natural ao ser explorado na mineração e para extração de matérias-primas para a produção de materiais, mas também quando é convertido para outros usos, seja para urbanização, ou outros projetos de engenharia civil.

Os setores produtivos terão no futuro um papel importante no que se diz respeito a aprimoramentos dos processos construtivos, pois são essenciais para reduzir os impactos sobre o meio ambiente e a vida do ser humano. Bertolini (2010) explica que será necessário promover o desenvolvimento de materiais com menor consumo energético e de matérias primas naturais, bem como ampliar as tecnologias de reciclagem tanto para diminuir o descarte, quanto a extração na

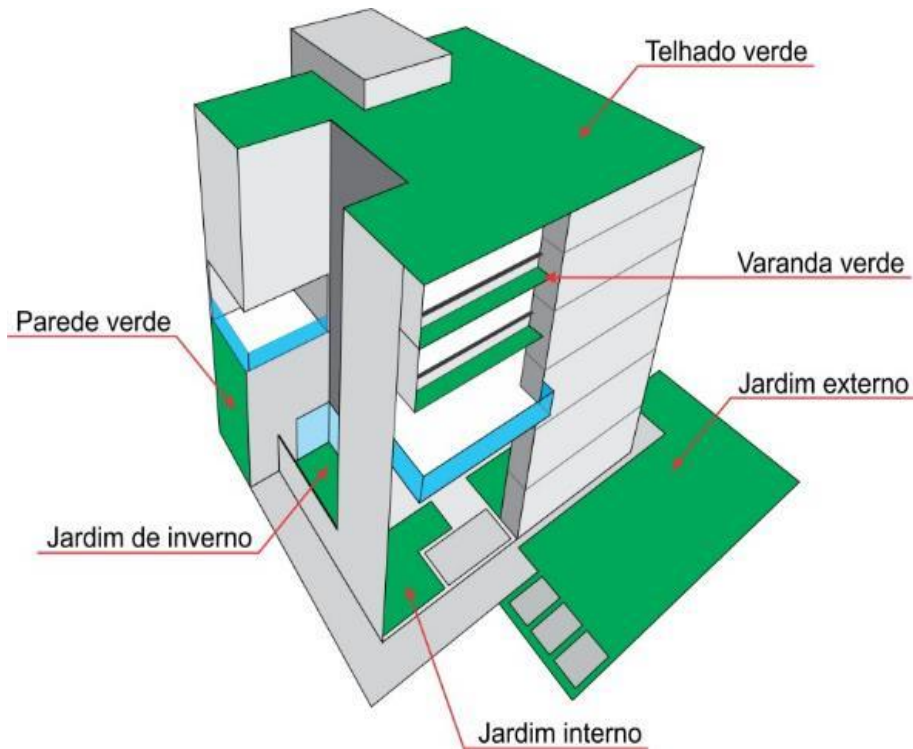
natureza. Acrescenta ainda que também é essencial privilegiar, através da tecnologia de construção e ciência dos materiais, o aumento da vida útil das construções.

Já para mitigar os impactos ambientais provocados pela transformação do meio ambiente devido ao processo de urbanização, frequentemente são propostas estratégias na tentativa de diminuir a distância entre o natural e o antrópico. Yeang e Powell (2007) reforçam que diante da interação biótica e abiótica atuando juntos e naturalmente no ecossistema, o ambiente construído deve ser projetado de maneira análoga, integrando-se à natureza. Os autores completam dizendo que esse comprometimento ambiental tem que ser abrangido por todos os níveis. As ações devem ter foco no meio físico (ambiente construído), mas também ao nível político, concebendo e implementando legislação e social, redefinindo atitudes tradicionalmente arraigadas. Afirmam ainda que, dar continuidade ao processo sem buscar alternativas de equilíbrio perante atos ambientalmente destrutivos, como o desmatamento e a poluição, significa tornar o meio ambiente cada vez mais artificial e deve-se, a fim de reverter esta tendência, adotar medidas com o intuito de equilibrar o ambiente construído com inclusão de biomassa, biodiversidade e conectividade ecológica. Ainda nesse contexto, Wood (2008) observa que, diante da grande transformação do ambiente natural devido à massiva concentração da população nas áreas urbanas e conseqüentemente verticalização das construções, as cidades buscam se adaptar imitando a atmosfera do térreo nas edificações, incluindo áreas verdes.

Considerar a possibilidade de inclusão de massa verde em centros urbanos é uma medida viável e necessária. Neste contexto, os telhados verdes se mostram como uma interessante alternativa, ao poder transformar grandes extensões de coberturas em áreas passíveis de interação com a natureza.

Além dos telhados verdes, existem várias outras formas de se utilizar vegetação em um edifício, como por exemplo, os jardins de inverno, varandas e jardins internos (RAJI; TENPIERIK; DOBBELSTEEN, 2015). A Figura 3.1 ilustra as possibilidades.

Figura 3.1 - Diferentes possibilidades de criar e integrar sistemas de vegetação em edifícios



Fonte: Adaptado de Raji, Tenpierik e Dobbelsteen (2015).

3.2 Telhado verde

O termo “telhado verde” (*green roof*) se refere a todo sistema de vedação superior das construções composto por algum tipo de vegetação. De acordo com Peck e Callaghan (1999), as coberturas verdes podem ser definidas como qualquer espaço verde construído pelo homem por sobre as construções. São compostas por uma camada vegetal sobre as coberturas de edifícios, mas podendo também ser construídas em pontes, viadutos (FIGURA 3.2) e similares. Raposo (2013) acrescenta que as coberturas verdes consistem no desenvolvimento de um revestimento vegetal sobre uma superfície edificada com plena acessibilidade ou de acesso limitado, podendo ser inclinada ou plana e que foi construída intencionalmente, podendo também ter sido idealizada de forma que se auto estabeleça.

Figura 3.2 - Telhado verde sobre viaduto na MG 050 - Km 75 na cidade de Mateus Leme em Minas Gerais



Fonte: Autor.

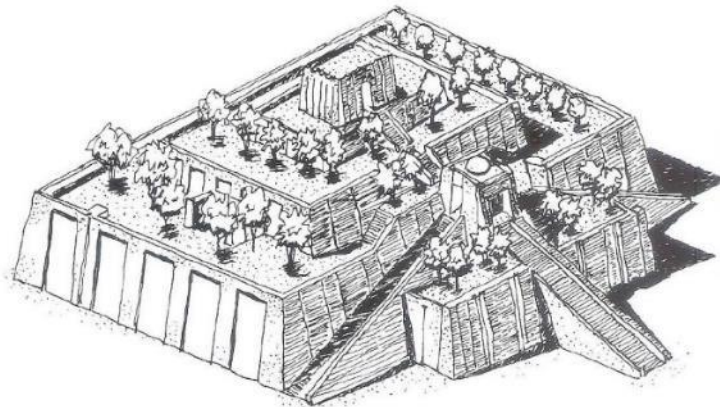
Vale ressaltar que coberturas acessíveis portadas de vegetações sobre sua superfície, mas que cultivadas tradicionalmente em recipientes isolados, individuais e independentes não são classificadas como telhado verde e sim jardim sobre terraços, pois não atendem a premissa de serem compostas por uma série de camadas para recebimento da cobertura vegetal e não cobrem uma grande área da cobertura. A camada vegetal de um sistema contemporâneo de telhado verde requer camadas subjacentes de: impermeabilização, repelente ou proteção contra raiz, elemento de drenagem, filtro e substrato (KUHN; PECK, 2000). Por outro lado, há sistemas de telhado verde compostos por unidades pré-fabricadas que alocadas lado a lado preenchem uma área da vedação superior.

Rola (2008) acrescenta que os telhados verdes fazem parte de um amplo campo multidisciplinar denominado *naturação*. Este campo de atuação visa implantar diversos tipos de vegetação em superfícies horizontais e verticais de edificações e envolve profissionais das áreas de engenharia, arquitetura e biologia (SILVA, 2016). A *naturação* urbana trata de transformar os edifícios e os espaços urbanos de forma a promover a melhoria no microclima das cidades, facilitar a circulação atmosférica, reduzir emissões e imissões acústicas, térmicas e óticas. Em suma, o sistema é uma tecnologia de aplicação de áreas edificadas, explorando cientificamente respostas às demandas ambientais, promovendo a integração entre espaço urbano, cidadão e natureza (ROLA *et al.*, 2003).

3.3 Breve histórico de telhado verde

O sistema de telhado verde não é um sistema novo e em análise histórica comprova-se que são antigas as primeiras construções com este sistema. No mundo, os primeiros registros deste sistema datam de 3.200 a.C nas cidades da civilização Suméria, localizadas na antiga Mesopotâmia, onde, sobre as construções de adobe, implantavam-se jardins para a proteção contra o calor (MAGILL *et al.*, 2011). Com a evolução da civilização, consolidaram-se os zigurates, cuja característica construtiva é a forma de pirâmides com platôs sucessivos. A descoberta do zigurate de Ur (FIGURA 3.3), cidade-estado na antiga Suméria, pelo arqueólogo britânico Charles Leonard Woolley, mostra um monumento supostamente com 21 metros de altura coberto por vegetação em sua cobertura e que data de cerca de 2.250 a.C. e é a maior referência sobrevivente com este sistema.

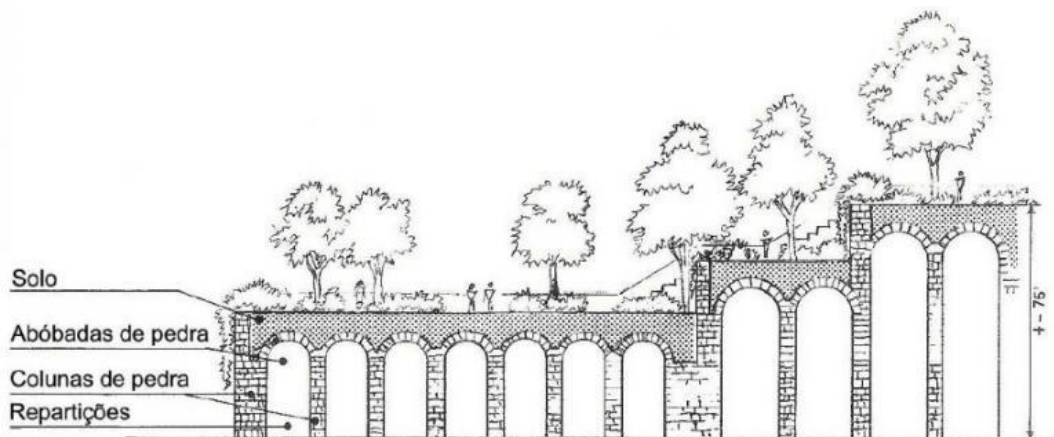
Figura 3.3 – Ilustração do zigurate de Ur baseada nas descobertas arqueológicas de Charles Leonard Woolley



Fonte: Osmundson (1999).

Mas provavelmente os Jardins Suspensos da Babilônia (FIGURA 3.4; FIGURA 3.5) são as mais famosas edificações com telhados verdes da antiguidade (COSTA, 2010). A primeira referência a estes jardins foi encontrada em manuscritos de um sacerdote que viveu por volta de 290 a.C. Os jardins encontravam-se plantados em terraços suportados por colunas, cuja estrutura foi impermeabilizada com camadas de tijolos de barro cozido e folhas de chumbo (COSTA, 2010).

Figura 3.4 – Ilustração dos Jardins Suspensos da Babilónia baseada nas descrições do arqueólogo Robert Koldewey



Fonte: Osmundson (1999).

Figura 3.5 - Representação dos jardins suspensos da Babilónia de Maarten van Heemskerck (1498-1574)



Fonte: Wahoo Art (2004).

As populações escandinavas medievais, mais conhecidas como nórdicos ou vikings, também se utilizavam desta técnica com a função de proteção contra intempéries (ADAMIC, 2016). Há também registros do escritor e historiador Caio Plínio Segundo, que escreveu sobre o transporte de espécies vegetais para a implantação do que seriam telhados verdes em Pompéia (JASHEMSKI, 1992). Os romanos também plantavam árvores no topo dos edifícios institucionais, como os mausoléus de Augusto e Adriano (PIEPER, 1987) apud (PECK; CALLAGHAN, 1999).

Já no período renascentista, os telhados verdes eram implantados em edifícios monumentais e principalmente em templos religiosos para atender apelo estético, pois devido ao declive dos terrenos, era impossível satisfazer o enquadramento desejado no solo natural. Na França, num mosteiro datado do século XIII (FIGURA 3.6) foi construído um claustro e vários outros pequenos jardins secretos sobre a cobertura (COSTA, 2010).

Figura 3.6 – Claustro do mosteiro Mont Saint-Michel



Fonte: Osmundson (1999).

Com a revolução na construção civil no início do século XX proporcionada pelo advento do concreto, as construções passaram a contar com maior capacidade de suporte, diferentes características arquitetônicas, tendências construtivas verticais, melhores sistemas de impermeabilização e possibilidade de coberturas planas. Tudo isso induziu o desenvolvimento e expansão dos telhados verdes (ALBERTON, 2006).

Dois entusiastas contemporâneos da tecnologia foram os arquitetos Le Corbusier e Frank Lloyd Wright que utilizaram dos telhados verdes para integrar mais intimamente suas construções à paisagem e provavelmente nem imaginavam os demais benefícios de ordem econômica e ambiental que este sistema poderia ter sobre a paisagem urbana (PECK; CALLAGHAN, 1999). Em 1926, Le Corbusier publica o livro *Five Points of a New Architecture: os cinco pontos da nova arquitetura*, onde sugere os elementos fundamentais da arquitetura moderna.

Dentre estes, os terraços jardins habitáveis, em contraposição aos telhados tradicionalmente inclinados. Le Corbusier os aplicou integralmente, ao que chamou de requisitos para a arquitetura moderna, no projeto da Villa Savoye de 1928 na França (FIGURA 3.7).

Figura 3.7 - Villa Savoye construída em 1928 na cidade de Poissy na França. Vista geral da cobertura e rampa de acesso ao terraço. Foto: Carlos Alberto Maciel



Fonte: Arqtextos (2000).

As preocupações sobre a degradação do meio ambiente aliado ao rápido declínio de espaços verdes com o crescimento urbano despertaram o interesse por este sistema na Europa, o que desencadeou, a partir da década de 1960, pesquisas mais aprofundadas sobre a técnica (KUHN; PECK, 2000).

No Brasil, a construção de telhados verdes foi motivada pelo Movimento Modernista na década de 1930. Le Corbusier, Oscar Niemeyer e Lúcio Costa idealizaram e construíram, com o projeto paisagístico do terraço-jardim de Burle Max, o mais representativo monumento desse movimento no Rio de Janeiro: o prédio do Ministério da Educação e Cultura (FIGURA 3.8), também conhecido como o Palácio Gustavo Capanema (ROLA, 2008).

Figura 3.8 – Terraço do Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro



Fonte: Rola (2008).

Outro expressivo edifício brasileiro com telhado verde é o Edifício Matarazzo, também conhecido como Palácio do Anhangabaú, é a Sede da Prefeitura de São Paulo (FIGURA 3.9). Foi projetado por Severo e Vilares, com revisão do arquiteto italiano Marcello Piacentini (STERN *et al.*, 2006).

Figura 3.9 - Edifício Matarazzo em São Paulo



Fonte: IBDA (2018).

A figura 3.10 mostra um exemplo de telhado verde contemporâneo. Conhecido como Edifício da Unimed, foi inaugurado no ano de 2015 e se situa na cidade de Belo Horizonte, MG. Conta com um moderno telhado verde semi-intensivo, dotado de sistema de irrigação automatizado com plantas ornamentais e espécies frutíferas (UNIMED, 2018).

Figura 3.10 - Centro de Promoção da Saúde Unimed, em Belo Horizonte.

a) TV implantado em nível superior b) TV implantando em nível intermediário

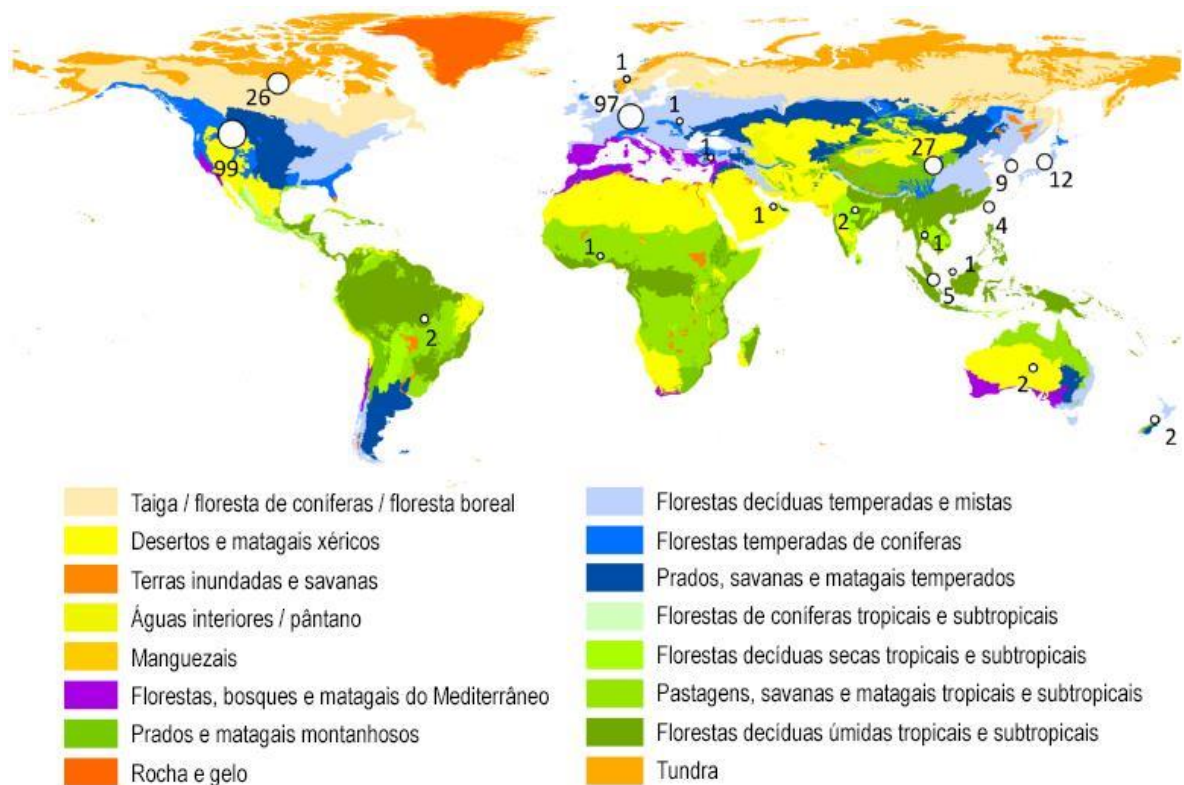


Fonte: Autor.

3.4 Tecnologia do sistema de telhado verde

As pesquisas sobre telhado verde receberam maior atenção a partir do ano 2000, onde se percebe um grande aumento de publicações. É um tema multidisciplinar e envolve tanto a engenharia como ciências naturais. Lior *et al.* (2013) constataram em seus estudos esse aumento de publicações sobre telhado verde a partir do ano 2000 e observaram também um crescente aumento de países que contribuíram com pesquisas (FIGURA 3.11). No Brasil, as pesquisas sobre o tema não têm a mesma intensidade que em outros países do mundo. Menos de 2% dos trabalhos publicados no mundo são brasileiros. A maioria concentra-se nos estados unidos e união europeia que juntos somam 67% seguidos de países asiáticos com cerca de 20% (dados da pesquisa realizada em 2013).

Figura 3.11 - Número de publicações por ecorregiões terrestres (entre os anos de 2001 e 2012)



Fonte: Adaptado de Lior *et al.* (2013).

Mendes (2014) cita a importância de se considerar as práticas estabelecidas e consagradas internacionalmente, o que nem sempre ocorre. O autor ressalta que não se devem ignorar as décadas de experiência de outros países. Por outro lado, observa a necessidade de adaptá-las aos aspectos peculiares de nossa realidade levando em conta o clima, a técnica e até as condições socioeconômicas. Apesar dos benefícios do sistema, a tecnologia no Brasil enfrenta grandes desafios técnicos, sociais e econômicos.

São inúmeras as opções que podem ser adotadas para se construir um telhado verde. O tipo de cobertura e sua capacidade de suporte irá definir e limitar as possibilidades. Estruturas projetadas para receber este sistema possibilita a utilização de um grande número espécies de plantas e com variados tamanhos (FIGURA 3.12). Já para estruturas existentes, a verificação do tipo de cobertura, inclinação e capacidade de suporte de carga irá definir a tipologia a ser adotada.

Figura 3.12 - Telhado verde intensivo com grande variedade de espécies e tamanhos de plantas



Fonte: Zinco (2018a).

3.4.1 *Tipologias de telhado verde*

Os telhados verdes são adaptáveis em qualquer tipo de cobertura, seja ela plana ou inclinada, de concreto ou de telhas, se houver capacidade de suporte, há possibilidade de se implantar o TV. Para tal, deve-se analisar o tipo de sistema a ser adotado, o que determinará também as espécies vegetais mais indicadas.

Há basicamente três tipos de telhados verdes, os intensivos, semi-intensivos e os extensivos. Cada qual se diferencia, essencialmente, pelo tipo de vegetação, o que diretamente determina a espessura do substrato a ser utilizado para as espécies se desenvolverem.

As características das vegetações a serem implantadas define a espessura do substrato a ser utilizado, o que classifica o tipo do telhado verde. A espessura do substrato para telhados verdes extensivos na maioria das vezes é inferior a 20 cm e superior a isso nos casos de telhados verdes intensivos capazes de suportar plantas de caule lenhoso (CHEN, 2013).

A norma ANSI/SPRI simplifica a classificação dos tipos de telhados verdes da seguinte forma (ANSI/SPRI VF-1, 2017):

- Extensivo: espessura de substrato inferior a 15 cm, menor requisitos de capacidade de carga e menor opções para espécies de plantas.
- Intensivo: espessura de substrato superior a 15 cm, maior requisitos de capacidade de carga e maior diversidade de plantas.

Os telhados verdes extensivos, instalados com 15 cm ou menos de espessura de substrato, geralmente pesam entre 63 e 146 Kg/m² e recebem suculentas, ervas e gramíneas. Os telhados verdes intensivos que têm mais de 15 cm de espessura de substrato, geralmente pesam entre 171 e 488 Kg/m² e suportam uma maior diversidade de plantas. Os telhados verdes semi-intensivos constituem uma combinação de sistemas extensivos e intensivos, geralmente pesam entre 122 e 195 Kg/m² e suportam plantas de porte médio, como arbustos.

a) Telhado verde intensivo

Este tipo proporciona espaços de utilização com pleno acesso e a utilização de uma grande variabilidade de espécies vegetais que vão desde gramíneas até arbustos e árvores. Demanda uma maior espessura de camada de substrato e necessita de cuidados regulares, como irrigação, fertilização e manutenção de poda frequente. O Parkroyal Hotel em Singapura (FIGURA 3.13) foi idealizado pela equipe do escritório de arquitetura Woha e construído em 2013 com a ideia de incorporar a mesma vegetação no entorno, dentro do edifício (TERRAPIN BRIGHT GREEN, 2017).

Figura 3.13 – Parkroyal Hotel em Singapura. Exemplo de telhado verde do tipo intensivo



Fonte: Terrapin Bright (2017).

b) Telhado verde extensivo

Geralmente este sistema é adotado em telhados com reduzida capacidade de carga e onde não se deseja a utilização da área para lazer. O acesso é restrito e destinado somente a ações de inspeção e manutenção. É composta por gramíneas, herbáceas, musgos e plantas do gênero *Sedum*. Tem menor custo de implantação, praticamente não demanda de cuidados como fornecimento de nutrientes, irrigação e manutenção, fazendo com que também tenha baixo custo para mantê-lo. A figura 3.14 mostra uma residência construída em Guayllabamba no Equador, projetada em 2013 pelos arquitetos Francisco Almeida e Tatiana Bohorquez da AR+C arquitetura (MARTINEZ, 2015).

Figura 3.14 - Lookout House. Exemplo de telhado verde extensivo



Fonte: Martinez (2015).

c) Telhado verde semi-intensivo

É um sistema que se situa entre o tipo intensivo e o tipo extensivo. É composto por herbáceas, gramíneas e arbustos de médio porte. Por ser uma combinação dos outros dois tipos este sistema híbrido possibilita a visitação e tem custos de implantação e manutenção intermediários. A figura 3.15 mostra uma residência com telhado verde semi-intensivo, projetada por Caroline Witzke e Szymon Goździkowski do escritório Guz Architects em 2010 e construída na ilha de Sentosa em Singapura (MARTINEZ, 2015).

Figura 3.15 - Sky Garden House. Exemplo de telhado verde semi-intensivo






Fonte: Martinez (2015).

A tipologia a ser utilizada vai depender de vários fatores que vão desde a pretensão do utilizador, tipo e capacidade de carga da estrutura, custos de implantação e manutenção. Em telhados inclinados, se faz necessários sistemas de ancoragens e devido à natureza deste, com estrutura de madeira e telhas, o tipo extensivo é o recomendado.

Outra classificação muito difundida com relação aos tipos de telhados verdes é apresentada na tabela 3.1, que detalha todos os tipos de telhados verdes com suas principais características relativas à construção, uso e manutenção, tendo como base a publicação do International Green Roof Association, IGRA (2012).

Tabela 3.1 - Classificação de telhados verdes de acordo com o tipo de uso, fatores de construção e requisitos de manutenção

			
	Telhado verde extensivo	Telhado verde semi-intensivo	Telhado verde intensivo
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Espécies vegetais	Musgo, Sedum, herbáceas e gramíneas	Gramíneas, herbáceas e arbustos	Gramíneas, arbustos e árvores
Custo	Baixo	Médio	Alto
Sobrecarga	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Parque com jardim
Espessura do sistema	6 – 20 cm	12 – 25 cm	15 – 40 cm Garagens subterrâneas ≥ 100 cm

Fonte: Adaptado de IGRA (2012).

Outra referência sobre a relação dos tipos de TV's, espessuras de substratos e espécies vegetais é apresentada pela Sociedade alemã de pesquisa sobre paisagismo e desenvolvimento da paisagem.

Uma orientação, extraída das diretrizes da FLL (2018), para as profundidades variadas de substrato para cada tipo de vegetação é mostrada na figura 3.16.

Figura 3.16 - Profundidade recomendada do substrato para diferentes tipos de vegetação, de acordo com a FLL

Espessura do substrato (cm)		4	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200		
TIPO DE VEGETAÇÃO	TV extensivo	Musgo/Suculenta	■																						
		Musgo/Suculenta/Herbáceas		■																					
		Suculenta/Herbáceas/Gramíneas			■																				
		Herbáceas/Gramíneas				■																			
	TV semi-intensivo	Herbáceas/Relva/Gramíneas					■																		
		Arbustos perenes						■																	
		Arbustos de madeira							■																
		Arbustos com copas								■															
		Gramado									■														
	TV intensivo	Arbustos baixos e árvores de copas									■														
		Arbustos de altura média e copas										■													
		Arbustos altos e árvores de copas											■												
		Grandes arbustos e pequenas árvores												■											
		Árvores médias													■										
		Árvores grandes														■									

Fonte: Adaptado de FLL (2018).

Outra referência de tais características está demonstrada na The Swedish Green Roof Handbook – Guidance (VINNOVA, 2017) e reproduzida na figura 3.17.

Figura 3.17 - Relação entre profundidade do substrato e vegetação de acordo com Manual do Telhado Verde Sueco



SUBSTRATO	3-15 cm	15-30 cm	30-60 cm	60-150 cm	>100 cm
VEGETAÇÃO	Sedum e musgo	Gramma, plantas perenes, ervas (+ verduras)	Gramma, arbustos, plantas perenes e ervas	Árvores menores, arbustos, grama, ervas e plantas perenes	Árvores maiores, arbustos, grama, ervas e plantas perenes

Fonte: Adaptado de Vinnova (2017).

3.4.2 Sistema construtivo

Basicamente a estrutura de um telhado verde se compreende em (FLL, 2018; VINNOVA, 2017; ZINCO, 2017): base de apoio, impermeabilização, camada de proteção contra raiz, sistema de drenagem, manta filtrante, substrato técnico e vegetação (FIGURA 3.21). Alguns pesquisadores ainda indicam, em determinadas circunstâncias, a necessidade de utilização de camada de isolamento térmico e camada de controle de vapor, conforme mostra a figura 3.23a (MINKE, 1986, 2001, 2004; MORGADO; MARTINS, 2013; PECK; CALLAGHAN, 1999; POUHEY, 1998).

Quanto à construção, os telhados verdes podem ser subdivididos em: Sistema Completo, Sistema Modular e Sistema de Manta Vegetativa Pré-cultivada. O Sistema Completo, cujas camadas são bem definidas e instaladas separadamente é o mais utilizado ao redor do mundo. O Sistema Modular (FIGURA 3.18; FIGURA 3.19), difere do Completo, pelo simples fato de ser constituído de pequenos módulos de tamanhos variados, podendo conter substrato com vegetação já desenvolvida, que após a execução da impermeabilização, da camada de drenagem e da manta geotêxtil na cobertura, são instalados de forma a se encaixarem um ao lado do outro (ROLA, 2008). Esse sistema geralmente é utilizado

para telhado verde extensivo, seja ele em superfície plana ou inclinada (CARVALHO, 2018).

Figura 3.18 – Sistema modular



Fonte: Earth Pledge (2005).

Figura 3.19 – Sistema modular com substrato e vegetação já desenvolvida



Fonte: Snodgrass & McIntyre (2010) *apud*. Silva (2012).

O último sistema citado, Manta Vegetativa Pré-cultivada, é composto por uma manta onde a vegetação é nela pré-cultivada e transportada enrolada até o local de aplicação onde é desenrolada de forma a cobrir o telhado já preparado para se tornar um telhado verde (FIGURA 3.20).

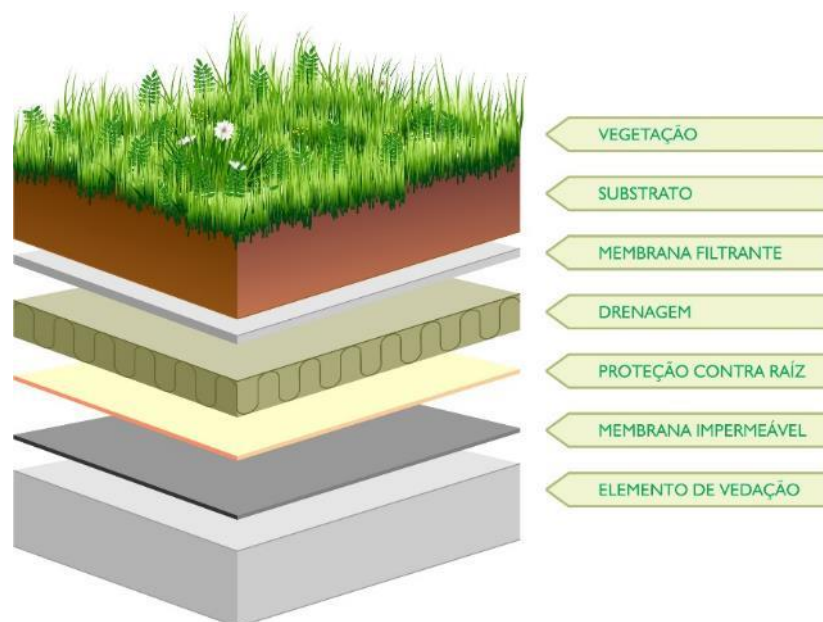
Figura 3.20 - Sistema de Manta Vegetativa pré-cultivada



Fonte: Youngman (2011).

O Sistema de Manta Vegetativa Pré-cultivada tem 2,5 cm de espessura de substrato com peso entre 40 e 60 kg/m² (GATTO, 2012).

Figura 3.21 – Esquema típico das camadas de um telhado verde



Fonte: Adaptado de FLL (2018); Morgado e Martins (2013); Minke (1986); Peck e Callaghan (1999); Pouey (1998); Vinnova; Zinco (2017).

Partindo da estrutura do telhado (base de apoio) o TV classificado como moderno (*MEG - Modern Extensive Greenroofs*), constitui-se de cinco ou seis camadas até

a vegetação (dependendo da combinação entre as mesmas), que são (KÖHLER; POLL, 2010):

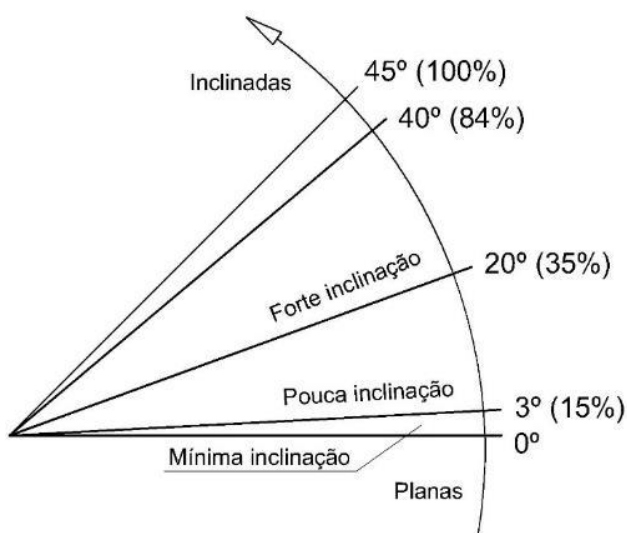
a) Base de apoio

A cobertura da edificação, seja uma laje ou de telhas, deve resistir às cargas permanentes impostas pelo substrato levando em consideração que esteja saturado e com vegetação e ainda cargas das operações de instalação e manutenção (NCDEQ, 2017).

Um telhado verde não deverá ter inclinação superior a 8%, a menos que este seja incrementado com um sistema de contenção para evitar perda de substrato e vegetação pelo efeito da gravidade. Além do mais, telhados com maiores inclinações perdem a capacidade de retenção das águas pluviais (NCDEQ, 2017). Minke (2004) salienta que medidas especiais devem ser adotadas para evitar deslizamentos de substrato em telhados com forte inclinação, ou seja, telhados inclinados com ângulos entre 20° e 40° são necessárias medidas adicionais apropriadas para combater ações de cisalhamento e erosão. Mesmo assim, com um sistema adequado de contenção, os TV's podem ser construídos em telhados com até 70% de inclinação. A tabela 3.2 mostra as relações de porcentagem e ângulos e sua classificação quanto a inclinação para telhados verdes.

Tabela 3.2 - Relação porcentagem X angulação nas inclinações de telhados

%	Grau	Grau	%
5	2,9	3	5,2
10	5,7	5	8,8
15	8,5	10	17,6
20	11,3	15	26,8
30	16,7	20	36,4
40	21,8	25	46,6
50	26,6	30	57,7
60	31,0	35	70,0
80	38,7	40	83,9
100	45,0	45	100



Fonte: Adaptado de Minke (2004).

Gatto (2012) diz que telhados verdes com inclinação maior que 30° não são recomendados, visto que as ações de manutenção são dificultadas e Minke (2004) explica que coberturas totalmente planas são prejudiciais pelo fato de que tendem a acumular água, sendo essa muito prejudicial para a respiração das raízes das plantas. A recomendação é que se atenda a inclinação mínima de 1%, segundo as normas ABNT.

b) Isolamento térmico e barreira ao vapor

Em sistemas dotados de isolamento térmico devem ser executadas também uma barreira ao vapor sob este para evitar condensações, isso quando for instalado de forma tradicional, ou seja, abaixo da camada de impermeabilização (Figura 3.23a). Nesse caso não é exigida a característica de impermeabilidade do material constituinte do isolante térmico, mas o tipo e o método de aplicação da membrana de impermeabilização devem ser adequados para não o danificar. A utilização de maçarico é proibida. Por outro lado, quando a instalação for por sobre a camada de impermeabilização, a denominada cobertura invertida (FIGURA 3.22; FIGURA 3.23b), o material constituinte do isolante térmico deve ser capaz de manter seu desempenho diante da presença contínua de água e é necessário também garantir que todas as camadas acima deste sejam permeáveis ao vapor (COELHO, 2014; TOLDERLUND, 2010; ZINCO, 2012a).

Figura 3.22 - Isolante térmico com placas de poliestireno extrudido (XPS) do tipo cobertura invertida

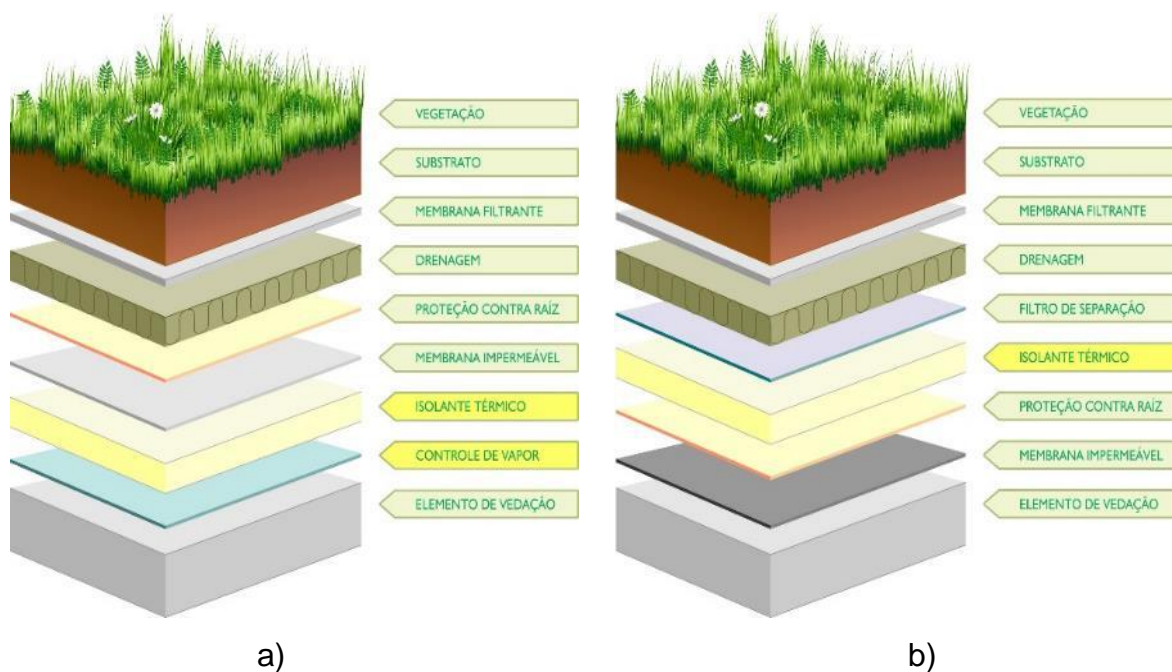


Fonte: Silva (2012).

Os tipos de isolamento mais usados são: espuma de poliuretano, espuma de poliestireno (expandida e extrudada), fibra de vidro e outros tipos: perlita expandida, fibra vegetal e espuma de isocianurato (TOLDERLUND, 2010).

Figura 3.23 – Camadas de um telhado verde com isolamento térmico

a) Método tradicional; b) Cobertura invertida.



Fonte: Adaptado de Zinco (2012a); Tolderlund (2010).

c) Impermeabilização

Os novos produtos e sistemas de impermeabilização que surgiram a partir dos materiais poliméricos possibilitaram uma maior investida do sistema. A camada de impermeabilização tem papel importante para garantir a função primordial do sistema de vedação horizontal, impedindo que a água se infiltre no edifício. Em uma aplicação de telhado verde esta importância se multiplica. Consiste em um material capaz de suportar a pressão hidrostática e promover a condução da água da cobertura para os coletores dando uma destinação adequada (ANDREWS III, 2016).

d) Camada anti-raiz químicas e mecânicas

Os sistemas radiculares tendem a ser agressivos com a finalidade de sobrevivência. Se tiverem tempo e um local adequado, buscarão umidade e nutrientes para seu crescimento. Eventualmente, eles causam danos à camada de

impermeabilização, saídas de drenagem e possivelmente à estrutura (TOLDERLUND, 2010).

Para garantir a integridade da membrana de impermeabilização, bem como impedir o alcance das raízes das plantas na estrutura de suporte, uma barreira radicular é necessária, podendo ser química ou mecânica. A barreira química pode ser alcançada com uma aplicação de hidróxido de cobre e a barreira mecânica pode ser alcançada através da instalação de polietileno de alta densidade, da utilização do concreto impermeável e da instalação de mantas sintéticas de PVC e TPO (TOLDERLUND, 2010). Além desses, uma nova borracha de EPDM sueca (borracha de monômero de etileno-propileno-terpolímero, classe M passou pelos testes de barreira radicular da FLL (FLL, 2018). A norma da FM Global (FM GLOBAL, 2011), no que tange à barreira radicular, especifica uma espessura de no mínimo 0,8 mm quando usados sistemas de impermeabilização a base de asfalto ou membranas betuminosas em conjunto com substratos de espessura acima de 15 cm. As costuras precisam se sobrepor 15 cm e solda com no mínimo 3 cm de espessura.

Em impermeabilizações do tipo Thermoplastic Membranes compostas por materiais sintéticos, as proteções contra ação da raiz são dispensáveis (Earth Pledge, 2005, p. 134).

e) Camada de drenagem

A camada de drenagem localizada sob o substrato é necessária para coletar a água que flui através desse, evitando o contato direto com a vegetação. Esta camada, ao mesmo tempo que retira o excesso de água evitando a asfixia radicular e morte das plantas, a armazena em sua parte mais inferior fornecendo um estoque de umidade.

Embora o telhado verde seja projetado para reter as águas das chuvas, ele deve dispor também de um sistema de coleta e destinação adequados para a drenagem da cobertura (ralos, calhas, condutores, etc). Estes devem ser protegidos contra raízes e vegetação para garantir o livre escoamento da água pluvial excedente (FIGURA 3.24). Drenos bloqueados resultam em contenção das águas com

consequências para as plantas e para a estrutura devido a sobrecargas (NCDEQ, 2017).

Figura 3.24 - Coletor de águas pluviais



Fonte NCDEQ (2017).

f) Manta filtrante

A fim de evitar a migração de finos do substrato para a camada de drenagem ou carreamento para os sistemas de coleta de águas pluviais, uma manta geotêxtil deve ser instalada entre os sistemas. Esta manta filtrante também garante que haja circulação de ar para as raízes (SILVA, 2016).

g) Substrato

O substrato é o responsável pelo desenvolvimento das plantas e também pelo desempenho dos telhados verdes, visto que este apresenta várias características importantes. Esta camada é a principal responsável pelo peso de um telhado verde e deve ser escolhido com critério para que seja denso o suficiente para a necessária ancoragem e suporte do tipo de vegetação (VIJAYARAGHAVAN, 2016) a ser adotada e aerado satisfatoriamente para possibilitar o bom desenvolvimento das plantas e a retenção de água. A utilização de solo comum acarreta em baixa retenção de água e pouca aeração, peso excessivo, grande desenvolvimento de ervas daninhas, compactação e lixiviação de nutrientes (CARVALHO, 2018).

De acordo com NCDEQ (2017) a espessura da camada de substrato não deve ser inferior a 4” (pouco mais de 10 cm), pois abaixo disso aumenta a possibilidade de morte das plantas particularmente em períodos de climas quentes e secos. Se o telhado verde for irrigado, esta camada poderá ter um mínimo de 3” (pouco mais de 7,5 cm) e um plano de rega deverá ser adotado.

h) Vegetação

Silva (2016) diz que os estudos com relação às espécies vegetais mais indicadas para telhados verdes têm sido desenvolvidos principalmente em regiões de clima frio e temperado. Completa que no Brasil este tipo de pesquisa para escolha de vegetação para o telhado adequadas ao nosso clima é praticamente inexistente. Sua pesquisa realizada no Rio de Janeiro mostrou que dos tipos de plantas escolhidas para um telhado experimental, a maior taxa de recobrimento foi apresentada pela espécie *Callisia repens*, que triplicou a cobertura em relação à área inicial, numa taxa de crescimento média de 500 cm² por semana.

Segundo (BASTOS, 2017) as espécies vegetais mais adequadas para telhados verdes extensivos na região da Zona da Mata de Pernambuco são *Calissia repens*, *Clorophytum comosum*, *Ophiopogon jabura*, *Paspalum lepton 01*, *Portulaca grandiflora* e *Sanseveria trifasciata*, pois apresentam baixo crescimento vertical, boa capacidade de cobertura horizontal e baixo custo com irrigação e nutrição do solo.

É recomendável utilizar uma maior variedade de espécies de plantas para aumentar a probabilidade de sobrevivência. A utilização de espécies únicas em grandes extensões pode gerar áreas nuas no substrato em caso de ampla morte acometendo uma determinada variedade. Outra recomendação é que se utilize uma parcela de espécie de plantas de crescimento moderado a rápido para se chegar a uma cobertura de no mínimo 75% entre um e dois anos, intercaladas com espécies de crescimento mais lento que geralmente têm vida mais longa. É importante salientar, porém, que plantas com estruturas radiculares agressivas, como o bambu, não devem ser especificadas para um telhado verde (NCDEQ, 2017).

3.5 Potencialidades do sistema de telhado verde

O crescimento acelerado das concentrações urbanas e a frenética movimentação da indústria da construção civil são responsáveis por uma importante parcela da degradação do meio ambiente (ZHANG; LONDON, 2012). Mulligan e Spence (1995) afirmam que a construção civil está envolvida em praticamente todos os aspectos do desenvolvimento, porém esta, juntamente com a indústria de materiais que a alimenta, são os maiores exploradores de recursos naturais do planeta. Todavia, a sua desaceleração não é uma alternativa desejável e se por um lado o impacto ambiental representa uma terrível desvantagem, por outro, a indústria da construção provê crescimento da economia e o principal, proporciona extraordinária qualidade de vida para a sociedade. Contudo, novos modelos são necessários com o intuito de minimizar os impactos ambientais e garantir sustentabilidade, pois a desaceleração da indústria não pode ser uma opção, mas sim, sua readequação, sua adaptação e conformação das técnicas, bem como descobertas de novas tecnologias (SPENCE; MULLIGAN, 1995).

Muito se pesquisa com o intuito de proporcionar novas tecnologias tanto na indústria de produtos para a construção, quanto nas práticas e técnicas construtivas para que este seguimento possa impactar com menor intensidade o meio ambiente (GOVINDAN; SHANKAR; KANNAN, 2016). Como já dito, nas grandes cidades, as ilhas verdes podem oferecer grandes vantagens, proporcionando uma melhoria na qualidade do ar, na mitigação do efeito da ilha de calor, na retenção de águas pluviais para redução de possibilidade de inundações, contribuir para um melhor enquadramento estético e saúde mental pelo conforto psicológico e servir de habitat natural para plantas e animais.

A presença de vegetação no ambiente traz inúmeras vantagens para o ser humano. Ainda sobre este texto, Pouey (1998) reafirma que além do efeito psicológico, as massas verdes proporcionam qualidade do ar, redução da temperatura pelo efeito das ilhas de calor e redução das águas de chuvas escoadas, acrescenta ainda que a implantação de áreas verdes é um bom investimento por agregar valor aos imóveis. Entretanto, outro aspecto se posiciona como uma barreira contra esta

necessidade: a impossibilidade de cultivar vegetação em terrenos propícios à elevação de obras.

Neste contexto os telhados verdes surgem como uma alternativa interessante e viável, pois são capazes de transformar coberturas de conjuntos arquitetônicos de concreto, aço e madeira, em jardins e parques vegetados, áreas antes inutilizáveis em espaços de convivência e lazer, poluição visual em belas paisagens. Minke (1986) cita uma série de vantagens do telhado verde com relação ao telhado tradicional: isolamento térmico, purificação do ar por meio de filtragem, isolamento acústico, efeito refrescante pela evapotranspiração da cultura, bloqueamento do vento que conseqüentemente evita a perda de calor, retenção de água, proteção da laje de cobertura dos raios ultravioletas e redução de amplitude térmica. Chen (2013) completa citando ainda o sequestro de carbono e economia de energia como as principais vantagens ambientais do telhado verde. Soma-se ainda a isso, a possibilidade de obter créditos em vários sistemas de avaliação da sustentabilidade dos ambientes construídos, como o LEED - Leadership in Energy and Environmental Design (RAPOSO, 2013).

De acordo com Scholz-Barth e Tanner (2004) e Oberndorfer *et al.* (2007), os benefícios mais importantes oriundos de telhados verdes são: conservação de energia para aquecimento e arrefecimento; redução do efeito de ilha de calor urbana; absorção de poluentes do ar e poeira; atenuação do escoamento de águas pluviais; prolongamento da vida útil das camadas de impermeabilização; espaço aberto atraente (benefícios estéticos); provisão de habitat de vida selvagem; substituição de vegetação e habitat perdidos durante a expansão urbana; redução do ruído urbano; benefícios sociais e psicológicos.

3.5.1 Conforto térmico no interior da edificação

Feng, Meng e Zhang (2010) citam que o conforto térmico pode ser a função mais atraente proporcionada pelo telhado verde. O efeito ocorre devido ao mecanismo de evaporação, transpiração, fotossíntese, sombreamento e pelo alto albedo do conjunto.

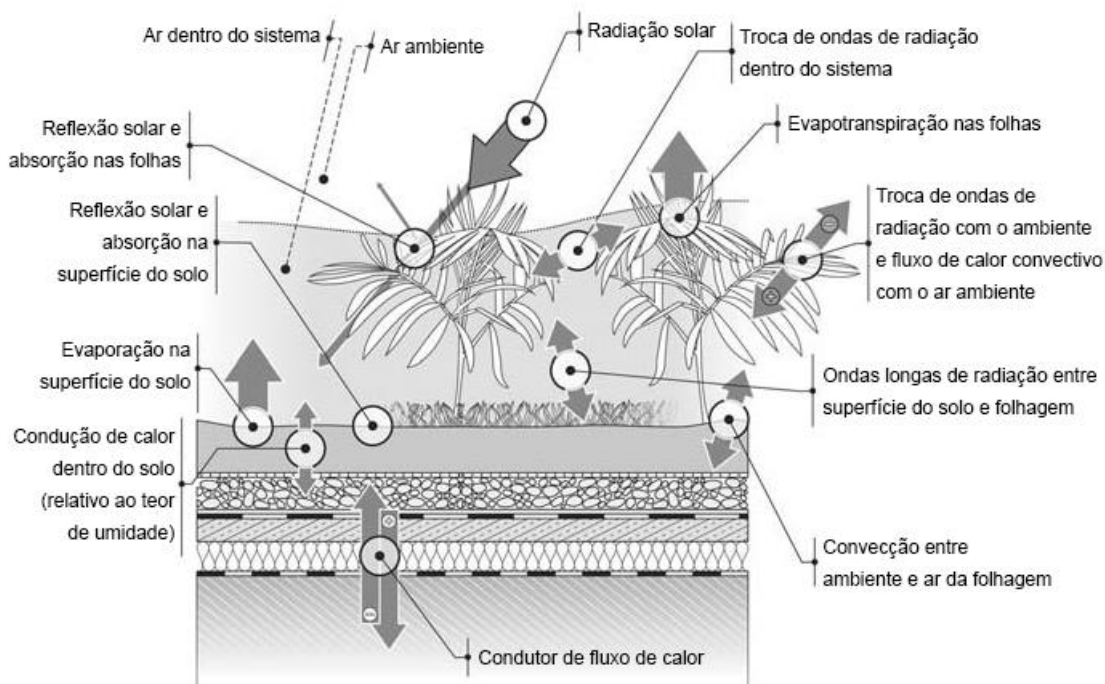
Vários estudos confirmam que o telhado verde proporciona melhor conforto térmico no interior da edificação (CARVALHO, 2018; FEITOSA; WILKINSON, 2015; FERRAZ, 2012; JIM; TSANG, 2011; KUMAR; KAUSHIK, 2005; LIZ, 2016; MENESES, 2015; MORGADO; MARTINS, 2013; SANTOS *et al.*, 2017; POUHEY, 1998). Eles são capazes de dissipar melhor o calor através da vegetação e do substrato fazendo com que a superfície e o interior da edificação tenham menor temperatura (CHEN, 2013).

Pouey (1998) verificou em seu estudo que houve uma redução na amplitude de variação térmica no ambiente com telhado verde se comparado à cobertura tradicional. O estudo ainda mostra a mesma tendência na superfície exterior das coberturas, ressaltando que este fato proporciona maior vida útil ao sistema de impermeabilização. Outro aspecto observado foi um maior retardo térmico na cobertura com o telhado verde, que também sofreu menor oscilação térmica em todos os seus elementos constituintes.

Kumar e Kaushik (2005) desenvolveram um modelo matemático para avaliar o desempenho do telhado verde para a proteção térmica de edifícios e confirmam seu potencial de resfriamento. Morgado e Martins (2013) verificaram a mesma tendência em seus estudos afirmando que no verão, com o telhado verde, o ambiente interno fica mais fresco e no inverno, mais ameno. Destacam também a proteção que o sistema traz para o sistema de impermeabilização da cobertura, pois ao diminuir o gradiente térmico, reduz as solicitações dos materiais impermeabilizantes e da estrutura da edificação.

Theodosiou (2009) explica que um edifício pode reduzir seu consumo de energia através do telhado verde, isso devido a sua capacidade de isolamento térmico. Através da figura 3.25 o pesquisador explica como cada componente do sistema age de forma a promover uma barreira contra o superaquecimento da edificação. Miller (2014) explica que as plantas absorvem a maior parte da radiação solar para as atividades de fotossíntese e evapotranspiração. Porém, a eficiência depende de uma vasta gama de variáveis, dentre elas a densidade e características da vegetação, espessura da camada de substrato e padrão de construção.

Figura 3.25 - Balanço energético de um telhado verde

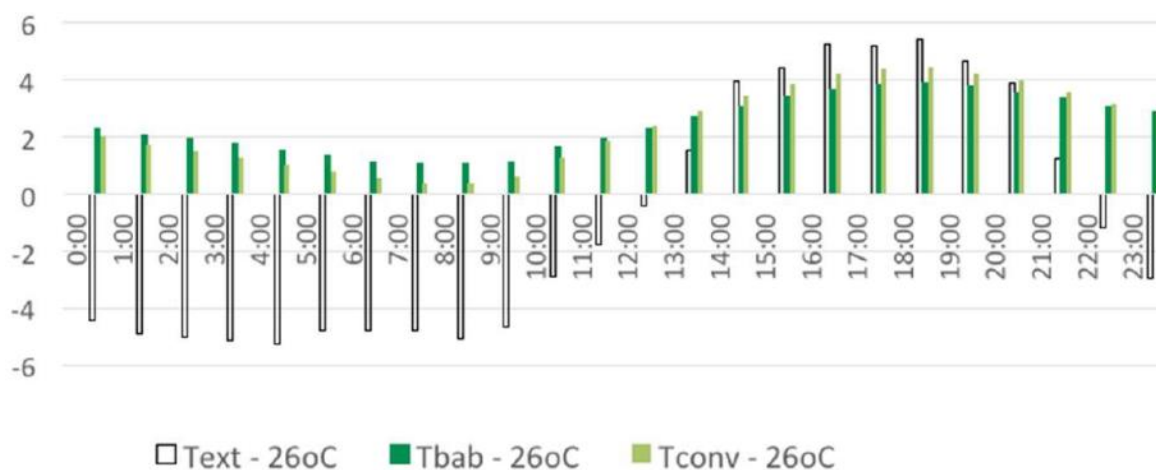


Fonte: Adaptado de Theodosiou (2011).

Estudos realizados por Feitosa e Wilkinson (2015) com protótipos instalados no Rio de Janeiro, Brasil e em Sidney na Austrália, mostrou que a utilização do telhado verde reduziu substancialmente a temperatura interna em ambos os casos. Os pesquisadores ainda reforçam que a utilização desse sistema não só atenua as condições climáticas internas, mas também promove um ganho substancial das condições de salubridade das habitações. A mesma tendência foi observada por Liz (2016), em um estudo experimental realizado em Florianópolis, SC, Brasil.

Santos *et al.* (2017) estudaram a contribuição do telhado verde para a atenuação da temperatura interna em uma unidade experimental construída na região do semiárido brasileiro, onde em dias de maior insolação as temperaturas podem ultrapassar os 45°C. O resultado mostrou a atenuação da temperatura interna do protótipo com a implantação do telhado verde constituído da espécie vegetal *Aloe vera* (FIGURA 3.26).

Figura 3.26 - Diferença entre as temperaturas externa (Text), ambiente sob o telhado verde (Tbab) e ambiente sob o telhado convencional (Tconv) e 26°C no dia 26/11/2015



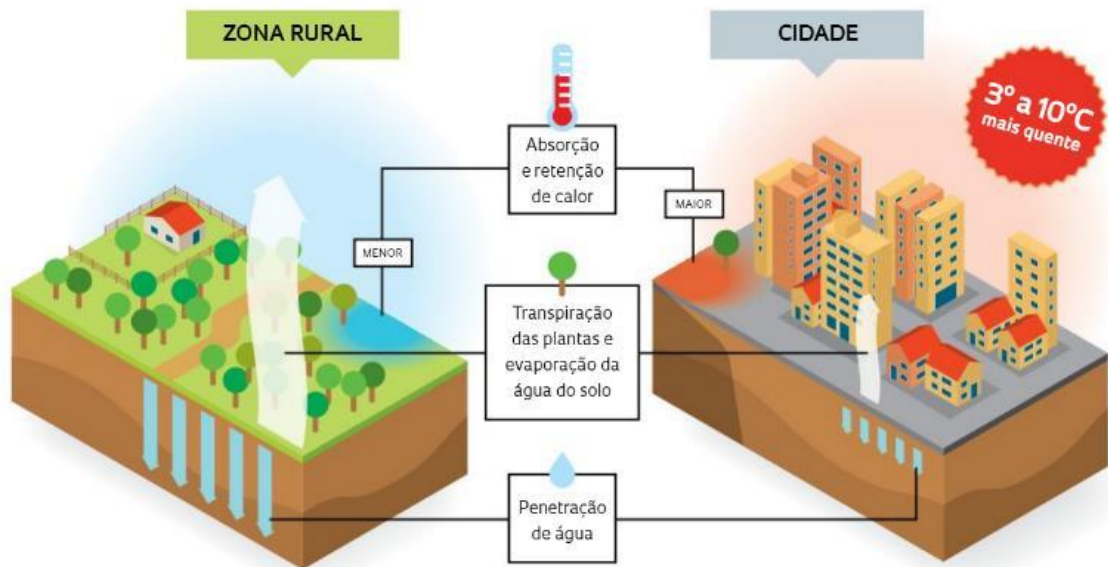
Fonte: Santos *et al.* (2017).

É importante enfatizar que este estudo concluiu ainda que, apesar do telhado verde contribuir para a amenização da temperatura subjacente proporcionando que a mesma se aproxime ao limite superior previsto em norma para o conforto térmico (26°C), não atingiu valores que atendem à condição de conforto ambiental.

3.5.2 Melhoria do microclima em grandes concentrações urbanas

A partir do momento em que houve uma inversão da quantidade de pessoas do meio rural para os centros urbanos, resultando em cada vez mais concreto e asfalto em substituição à vegetação nativa, o fenômeno da ilha de calor cresceu com maior intensidade refletindo também no regime de chuvas sobre as grandes cidades (OLIVEIRA; ALVALÁ, 2012). A figura 3.27 mostra um comparativo entre o meio urbano e o rural no que concernem as causas do aumento da temperatura média no clima das grandes cidades. Bass e Baskaran (2001) citam que árvores, arbustos e outras vegetações naturais afetam diretamente a qualidade do ar e o clima das grandes cidades. Assim sendo, a presença de massas verdes nos ambientes urbanos traz inúmeros benefícios para a população.

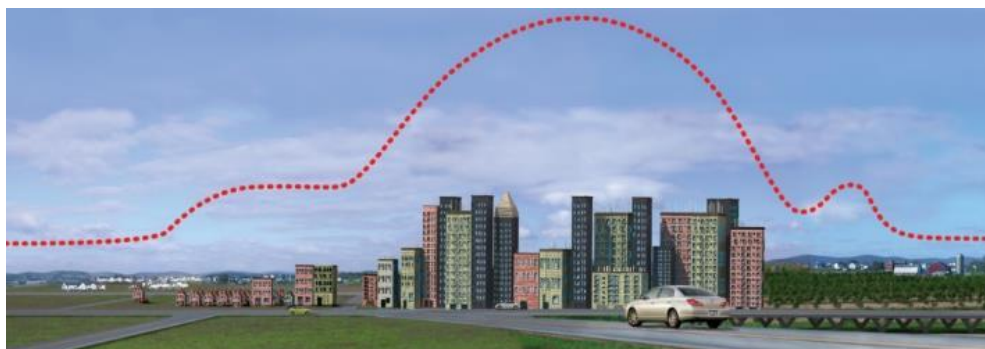
Figura 3.27 – Fenômenos que geram o efeito ilha de calor nas concentrações urbanas



Fonte: Oliveira (2012).

A ilha de calor é um fenômeno conhecido nas grandes concentrações urbanas e causam um aumento de temperatura média com relação ao seu entorno. Ainda pertencente a esse fenômeno a figura 3.28 mostra esquematicamente o efeito, onde a linha tracejada representa a temperatura. O fenômeno ocorre quando se constrói, substituindo superfícies vegetadas e de solo nu por edificações e pavimentos impermeáveis e de baixo albedo, o que faz gerar a diferença de temperatura entre a área urbana e a área não urbanizada (ZHANG *et al.*, 2010). Em virtude disso, os telhados verdes podem complementar a massa verde dos centros urbanos a fim de promover diminuição da temperatura local elevada pelo efeito da ilha de calor.

Figura 3.28 – Efeito ilha de calor urbano. O denso desenvolvimento urbano eleva a temperatura ambiente em comparação com as áreas circundantes



Fonte: Zhang (2010).

Liu e Baskaran (2003) citam que os telhados verdes contribuem para a atenuação do efeito da ilha de calor através da evapotranspiração da massa viva e também pela promoção de sombras e proteção dos raios solares diretamente projetados nas coberturas, fachadas e pavimentos das construções.

Na Austrália, pesquisadores monitoraram a capacidade de telhados verdes intensivos e extensivos de reduzir a temperatura do microclima circundante e apontam a tecnologia como sendo a principal estratégia para a diminuição da temperatura nas cidades densamente desenvolvidas. Os resultados mostraram que eles têm efeito direto na mitigação dos efeitos da ilha de calor, proporcionando significativa redução da temperatura no verão. No entanto salientam que outras estratégias, em complemento aos telhados verdes, devem ser consideradas pelos planejadores urbanos, como a utilização de materiais de alto albedo para a construção de fachadas e pavimentos (RAZZAGHMANESH; BEECHAMA; SALEMI, 2016).

Os telhados verdes, de acordo com o estudo de campo de Razzaghmanesh, Beechama e Salemi (2016), podem ser de 2 a 5° C mais frios durante o dia, dependendo do tipo de vegetação e da espessura do substrato, mas a noite eles apresentam ser de 3 a 6° C mais quentes que a temperatura ambiente. Os pesquisadores justificam este fenômeno como sendo em função do fluxo de calor que durante o dia é da superfície para o solo e a noite o fluxo se inverte.

Santamouris (2014) em seu estudo comparativo sobre o comportamento de telhados verdes para a mitigação de calor, afirma que a tecnologia alcançou um grau de maturidade elevado, apresentando ser uma significativa opção para melhorias climáticas urbanas. Porém, aponta que a investigação e desenvolvimentos futuros são necessários para uma demonstração mais avançada e em grande escala.

3.5.3 *Proteção do sistema de impermeabilização das coberturas das edificações*

Os telhados verdes funcionam como um componente de proteção da camada de impermeabilização da laje de cobertura de uma edificação (NCDEQ, 2017). Este sistema protege a membrana impermeabilizante das altas temperaturas a qual os telhados estão sujeitos. Vijayaraghavan (2016) cita que devido a presença da vegetação e do substrato, o telhado verde resguarda o elemento de impermeabilização da ação do vento, do calor extremo e dos raios ultravioletas.

Liu e Baskaran (2003) avaliaram que expansão e contração da membrana da cobertura podem ser evitadas, pois de acordo com seu estudo, a temperatura da membrana num telhado verde atingiu apenas 25°C, enquanto que a de um telhado convencional chegou a 70°C. Estudos europeus sugerem que as coberturas verdes asseguram no mínimo, o dobro de vida útil dos materiais utilizados na impermeabilização (PRATES, 2012). Kosareo e Ries (2007), Morgado e Martins (2013) e Pouey (1998) confirmam esta afirmação.

3.5.4 *Gestão de águas pluviais*

A questão do escoamento das águas pluviais em localidades com grande densidade populacional e, portanto, alto índice de urbanização é um problema importante a ser resolvido. Enchentes e inundações são frequentes e se originam principalmente devido a supressão vegetal, pavimentações impermeáveis e baixa capacidade de retenção.

A alteração do ciclo hidrológico em locais de grande densidade urbana está associada ao aumento de superfícies impermeabilizadas, o que conseqüentemente diminui a infiltração e posterior evaporação lenta. O resultado geralmente é grande fluxo de pico diante de eventos hidrológicos de alta intensidade (CARPENTER *et al.*, 2016).

Stovin, Vesuviano e Kasmin (2012) dizem que infraestruturas verdes em construções têm capacidade de atenuar naturalmente o escoamento superficial das

águas pluviais. Uma infraestrutura verde utiliza-se do solo e da vegetação para gerir as águas das chuvas, fazendo uma ligação do ambiente construído aos processos naturais, diminuindo o escoamento através da infiltração e evapotranspiração (CARPENTER *et al.*, 2016). Pode não haver volume de escoamento em telhados verdes, caso a precipitação seja de baixa intensidade, pois o substrato e a vegetação impedem o fluxo (CHEN, 2013).

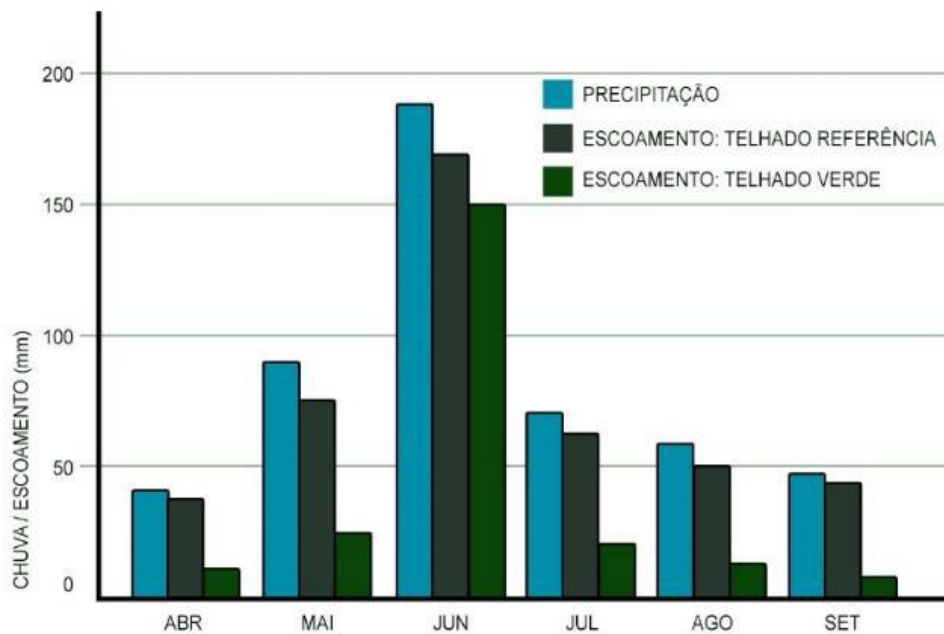
Estudos nos EUA e Europa mostram que a retenção de águas pluviais pelo telhado verde pode chegar a 56% (GREGOIRE; CLAUSEN, 2011), o pico de fluxo é significativamente reduzido e o escoamento atrasado no caso de precipitações de pouca intensidade. No entanto, o estudo mostra que para precipitações de maior intensidade o desempenho não é o mesmo (STOVIN; VESUVIANO; KASMIN, 2012).

Chen (2013) conclui em seu estudo sobre a influência do telhado verde no clima de Taiwan que, em chuvas intensas a retenção de águas pluviais no telhado verde diminui e, portanto, neste cenário, a contribuição para o controle de escoamento nas grandes cidades é pequena. Além disso, a carga de poluentes presentes nas águas de escoamento dos telhados verdes é maior do que nas de um telhado nu. Com a falta de manutenção adequada, estes compostos orgânicos e sedimentos em excesso tornam-se uma preocupação.

Assim sendo, alguns estudos evidenciam as limitações dos telhados verdes para reduzir o escoamento (CARTER; RASMUSSEN, 2007; MENTENS; RAES; HERMY, 2006; VILLARREAL; BENGTSSON, 2005). O estudo de Carpenter *et al.* (2016) mostra que apesar do telhado verde ser capaz de reter água da chuva e atrasar a descarga de pico, a quantidade de retenção diminui com o aumento da intensidade de precipitação.

Um estudo realizado em Ottawa, Ontário no Canadá, através de um comparativo entre um telhado verde e um telhado convencional, demonstrou a quantidade de água escoada e conseqüentemente retida (FIGURA 3.29) nos dois sistemas. O telhado verde tinha uma espessura de substrato de 15 cm com grama (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Figura 3.29 – Quantidade de escoamento retido por um telhado convencional e um telhado verde



Fonte: Adaptado de Oberndorfer *et al.* (2007).

Como vimos, todo telhado verde tem a capacidade de retenção de águas pluviais. Assim sendo, os fluxos de pico que podem sobrecarregar os sistemas de drenagem podem ser temporariamente retidos.

Porém, sabe-se, por outro lado que, em situação de precipitações mais intensas ou de maior duração, a capacidade de retenção do sistema diminui. Diante dessa situação podem ser instalados “*espaçadores*” ou numa nomenclatura mais técnica: “*dispositivo de gerenciamento de águas pluviais*”, abaixo da camada de drenagem do telhado verde com a função de reter e armazenar uma maior quantidade de água das chuvas, trazendo ainda mais alívio para todos os sistemas de drenagem, micro e macro, proporcionando um armazenamento útil para a vegetação que chega às raízes por ação capilar e por difusão (FIGURA 3.30).

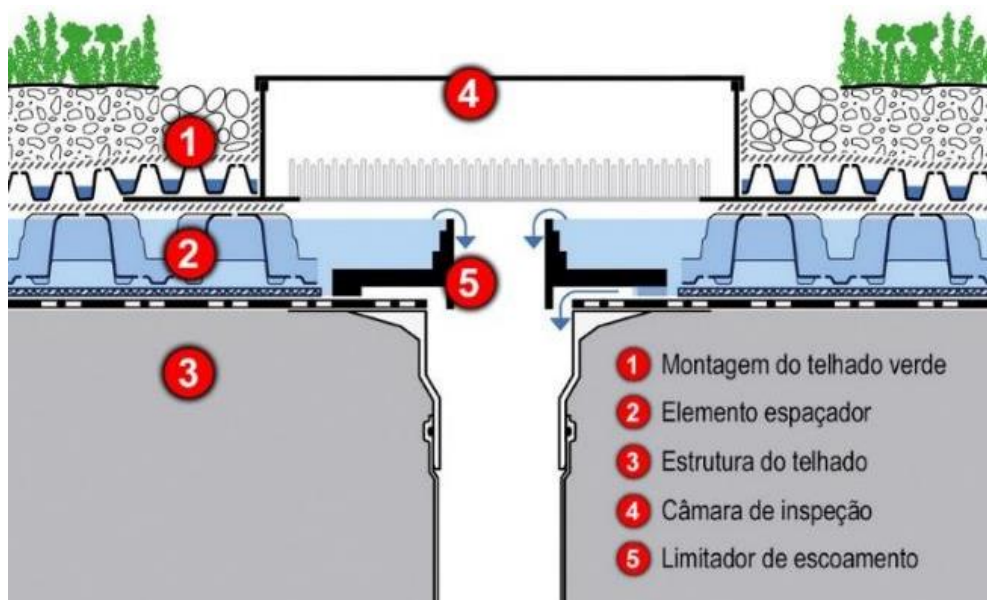
Figura 3.30 - Dispositivo de retenção de água



Fonte: Zinco (2017).

Este dispositivo é composto por um sistema de controle ajustável de escoamento, garantindo a reserva de um volume pré-definido, de acordo com a capacidade do espaçador que pode chegar a 80 l/m² (FIGURA 3.31; FIGURA 3.32).

Figura 3.31 - Desenho esquemático da instalação do espaçador de retenção de água da chuva



Fonte: Adaptado de Zinco (2017).

Figura 3.32 - Limitadores de escoamento ajustáveis para uma taxa de fluxo de volume predefinida



Fonte: Zinco (2017).

3.5.5 Potencial de purificação do ar

O ar urbano apresenta comumente altos níveis de poluentes prejudiciais à saúde humana (MAYER, 1999). O uso de vegetação urbana pode ajudar diretamente a diminuir a poluição atmosférica através de um processo de deposição a seco e indiretamente através do efeito de resfriamento da temperatura que ela proporciona ao ambiente construído, resultando em redução no consumo e conseqüentemente na geração de energia (YANG; YU; GONG, 2008). Onde não há área em solo para a promoção de jardins, parques e bosques, ou quando for inviável devido ao fato de que as áreas disponíveis têm potencial para a construção, a implantação sobre os edifícios é uma saída perfeitamente possível (DIMITRIJEVIĆ *et al.*, 2018).

Um estudo realizado por Getter *et al.* (2009) para Michigan e Maryland nos Estados Unidos conclui que os telhados verdes fornecem uma possibilidade viável em grandes cidades para o sequestro de carbono e enfatizam sobre a oportunidade única que os TV's apresentam para este fim, devido a sua instalação em áreas de inutilização habitual.

Li e Babcock (2014) afirmam que os telhados verdes têm grande potencial para sequestro de CO₂ através do processo de fotossíntese das plantas, porém salientam que há necessidade de mais estudos para quantificar o processo.

Uma parte das partículas em suspensão no ar podem ser interceptadas e absorvidas pela vegetação, outra parte simplesmente adere à superfície da planta temporariamente até que sejam novamente suspensas pelo vento ou levadas para o solo através das águas das chuvas (WESELY, 1989).

Os telhados verdes intensivos por serem compostos por arbustos e árvores, assemelhando-se às florestas urbanas, desempenham um papel muito maior na melhoria da qualidade do ar se comparados aos telhados verdes extensivos, compostos de gramíneas e suculentas. A vegetação pode interceptar partículas através de suas folhas, sequestrar poluentes gasosos por meio de seus estômatos foliares e são capazes de quebrar certos compostos orgânicos, como os hidrocarbonetos poliaromáticos, em seu tecido ou no solo (DIMITRIJEVIĆ *et al.*, 2018).

Um estudo realizado em Toronto atestou que os telhados verdes podem suplementar a vegetação existente nos ambientes urbanos trazendo benefícios para a qualidade do ar e igualmente para a saúde pública. A utilização de grama resultou em reduções significativas de contaminantes do ar, porém menores em relação aos arbustos e árvores (ANNE; BASS, 2008).

3.5.6 *Desempenho acústico*

Outro aspecto interessante para a construção dotada de telhado verde é a redução da intensidade de ruído. Esse sistema pode absorver, refletir e desviar ondas sonoras externas. Raposo (2013) diz que o substrato é capaz de bloquear as frequências mais baixas, e as plantas, as frequências mais altas.

Piovesan (2013) afirma que o substrato, devido as suas propriedades porosas, tem interessantes propriedades de absorção e que sua espessura, bem como o tipo de vegetação podem influenciar diretamente no coeficiente de absorção do telhado.

Hongseok, Minsung e Kang (2010) em seu estudo acústico para telhados verdes, observou uma redução de 10dB em seu experimento. Concluiu que folhagens

densas têm efeitos positivos na mitigação do ruído, principalmente de altas frequências (acima de 4kHz). Outros estudos apresentaram a mesma tendência com resultados da redução de ruído chegando até 50dB, dependendo da espessura do substrato (PECK; CALLAGHAN, 1999).

Entretanto, Coelho (2014) ressalta que os resultados destes estudos devem ser cautelosamente analisados, pois dependem diretamente de detalhes geométricos dos edifícios, do tipo de material de construção e das ondas sonoras envolventes. Mas, de uma forma geral os telhados verdes melhoram as propriedades de isolamento dos edifícios, pois fornecem massa adicional, baixa rigidez e amortecimento (SAADATIAN *et al.*, 2013).

3.5.7 Estética, utilização, saúde humana e habitat para flora e fauna

Os telhados verdes também podem ser vistos como uma ferramenta estética para os edifícios, uma possibilidade de restauração da biodiversidade perdida com o desenvolvimento humano e uma possibilidade de interagir o ambiente construído com a paisagem local (FIGURA 3.33). Vijayaraghavan (2016) afirma que os telhados verdes proporcionam um local propício para pássaros, insetos e crescimento de plantas. Isso está diretamente ligado à saúde e bem-estar dos seres humanos que vivem em áreas urbanas (NOWAK *et al.*, 1988).

Figura 3.33 - Clube de golf com telhado verde



Fonte: Youngman (2011).

Do ponto de vista psicológico, as plantas podem favorecer condições de bem-estar e conforto, promovendo saúde com a diminuição do stress (RAJI; TENPIERIK; DOBBELSTEEN, 2015).

Um experimento realizado em escala natural por Silva (2016) numa edificação situada na favela de Arará no Rio de Janeiro, Brasil com um sistema alternativo de naturalização onde não se utiliza substrato, o que diminui o peso e os custos de implantação, demonstrou uma redução significativa da temperatura interna do ambiente, abrindo potencial para economia de energia. Mas o autor explica que outros efeitos, ainda mais positivos para a população poderá ser alcançado, como a melhoria na qualidade da vida, um maior envolvimento ecológico e bem-estar psicológico dos cidadãos com uma redução da criminalidade. Todos estes benefícios são igualmente esperados.

Esta tecnologia hidropônica teve seu ponto de partida baseado no sistema denominado MEG (*Modern Extensive Greenroof*) que foi modificado ao suprimir as camadas de drenagem, barreira anti raiz e de substrato. Essa tecnologia tem potencial de melhorar a qualidade de vida e saúde da população das comunidades carentes por ser de fácil aplicação, ter menor custo e com a premissa de se utilizar as coberturas como elas são, sem a necessidade de reforço (FIGURA 3.34).

Figura 3.34 - Cobertura com telhas de fibrocimento e inclinação de 5% recoberto de vegetação no sistema de telhado verde tropical experimental hidropônico implantado na favela do Arará no Rio de Janeiro



Fonte: Silva (2016).

3.5.8 Outros benefícios dos telhados verdes

Com relação aos benefícios proporcionados pelos telhados verdes, vale mencionar ainda a possibilidade deste servir como meio de produção de alimentos (FIGURA 3.35). Denominado agricultura na cobertura, esta proposta foi desenvolvida pelo arquiteto americano William McDonough para a China em seu projeto instalado em Liuzhou, Guangxi (MCDONOUGH, 2005; RAPOSO, 2013) que espera alcançar por meio dessa estratégia, resultados positivos e em todos os aspectos aferidos pelos telhados verdes, além de propiciar mais qualidade de vida para as comunidades. Este conceito, além requer um substrato específico para este fim, sua espessura deve ter entre 20 e 40 cm. Também necessita de um sistema eficiente na camada de drenagem que possibilite a retenção de água para suprir as necessidades de cultivo dos vegetais e para seu bom desenvolvimento (ZINCO, 2014).

Figura 3.35 - Cultivo de hortaliças em coberturas de blocos habitacionais em Liuzhou, Guangxi na China



Fonte: McDonough (2005).

Um outro aspecto benéfico a se levar em evidência é a possibilidade de utilização de materiais reciclados e de reaproveitamento da construção civil na construção de telhados vegetados (FIGURA 3.36), neste caso denominados telhados marrons (*Brown Roof*). Os telhados marrons são compostos por cascalho e rejeitos da própria construção como os entulhos de tijolos, concreto, areia e restos de solos de escavação (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

Figura 3.36 - Substrato composto de seixo rolado e fragmentos de tijolo e telha



Fonte: Dunnett e Kingsbury (2008).

Por fim, a construção em conjunto de um telhado verde com painéis fotovoltaicos (FIGURA 3.37) acarreta em um aumento de eficiência na produção de energia pelo fato de que a vegetação promove um arrefecimento, favorecendo o funcionamento dos painéis que, de acordo com Dunnett, geram 6% mais energia (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; RAPOSO, 2013).

Figura 3.37 - Interação de painéis de energia solar em telhado verde



Fonte: Zinco (2014b).

3.6 Referências técnicas, diretrizes, manuais e guias

Na Alemanha, a partir da década de 1960, iniciou-se estudos e aprimorações das técnicas de construção e instalação de telhados verdes. Foram introduzidos novos e mais modernos materiais para membranas de impermeabilização, substrato técnico, materiais com melhores propriedades para drenagem e utilização de espécies vegetais adequadas (KÖHLER; POLL, 2010). Berndtsson (2010) diz que no passado, vários estudos foram realizados com ênfase na construção do TV, mas Rowe (2011) explica que a maioria desses primeiros estudos escritos em alemão não estão mais disponíveis. Nos anos 80 o crescimento de implantação de telhados verdes chegava a ser de 20% ao ano, totalizando 10 milhões de metros quadrados naquele país em 1996 (PECK; CALLAGHAN, 1999). Atualmente, são implantados 13,5 milhões de metros quadrados de telhados verdes por ano (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Devido a iniciativa da Alemanha, em muitos países, a tecnologia do telhado verde é amplamente disseminada, onde foram publicados normas, manuais, códigos e diretrizes para atender suas necessidades.

Toronto no Canadá foi considerada em 2016 como a cidade com maior número de telhado verde instalado dentre todas da América do Norte (GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, 2017). Tudo isso começou com o lançamento de estratégias para implantação de TV na cidade com base na exigência da tecnologia para novos empreendimentos a partir do ano de 2009. Em 2010 foi publicado o Toronto Green Roof Construction Standard: Supplementary Guidelines (TGRCS) com o intuito de oferecer um guia com as melhores práticas para a implantação do sistema. O TGRCS é o primeiro guia municipal na América do Norte a estabelecer requisitos mínimos para a concepção e construção de telhados verdes (CITY OF TORONTO, 2018).

A Sociedade Alemã de Pesquisa, Desenvolvimento e Construção de Paisagens (FLL), fundada em 1975, vem trabalhando em padrões para o telhado verde desde 1982, através de um grupo de trabalho específico, o que resultou em uma publicação que é referência para a aplicação desse sistema. O FLL Green Roof

Guidelines - Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs reflete os desenvolvimentos mais recentes da reconhecida tecnologia de ponta alemã. Apesar das diretrizes da FLL não apresentarem soluções para todos os problemas do telhado verde, é uma ferramenta que serve como base para o desenvolvimento de regulamentações em alguns países e são consideradas com grande aceitação para a construção de TV em todo o mundo (FLL, 2018).

Embora as Diretrizes FLL não possam substituir os padrões e regulamentações americanos, podem fornecer muita informação importante e baseada na experiência de mais de 90 milhões de metros quadrados de telhados verdes construídos (PHILIPPI, 2002). A publicação tem versão em língua inglesa e sua última edição é de 2018.

Quando da ausência de padrões americanos para telhado verde, o FLL Guidelines foi o suporte para parâmetros de limites aceitáveis de segurança e qualidade do sistema naquele país. Porém, a partir do ano de 2005 a American Society for Testing and Materials (ASTM) publicou normas específicas para esta tecnologia nos Estados Unidos. As normas ASTM estabelecem uma base comum para comparar as propriedades fundamentais do telhado verde com métodos projetados para medir as propriedades dos materiais no estado crítico, sob condições similares àquelas encontradas em campo (ASTM, 2018).

Ademais, foram desenvolvidos pela Single Ply Roofing Industry (SPRI), que é composta por um conjunto de especialistas da indústria de coberturas dedicados a fornecer recursos e conhecimentos a profissionais da área de construção em parceria com Green Roofs for Healthy Cities (GRHC) e aprovados pela American National Standards Institute (ANSI), que atua como administrador e coordenador do sistema de padronização americano, algumas padronizações de projeto para telhados verdes referentes à ação do vento, fogo e proteção anti-raiz, as ANSI/SPRI Standards (SPRI, 2018).

Em Singapura, o Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE) que é uma divisão ligada ao governo para desenvolver ações para o avanço da indústria da paisagem no país, a partir do ano de 2009 desenvolveu algumas normas através

de um comitê técnico composto por seus membros e membros da Associação Internacional de Telhados Verdes, Instituto de Engenheiros e Associação de Engenheiros Consultores de Singapura e espera ampliar para um conjunto completo de padrões técnicos para orientar a indústria e profissionais através de pontos de referência comuns para a adoção dessa tecnologia (CUGE, 2018). Estas normas estão disponíveis para aquisição no site da instituição e abordam desde diretrizes básicas para projeto e execução, requisitos técnicos para referência de qualidade na construção de impermeabilização, drenagem e barreira anti-raíz, até assuntos referentes à qualidade do substrato e aspectos de manutenção.

Na Suécia, através da Scandinavian Green Roof Association (SGRA), uma organização com interesse em telhados verdes e infraestrutura urbana, composta por arquitetos, desenvolvedores e empreendedores de TV's e membros da academia e departamentos municipais, recentemente publicou o Swedish Green Roof Handbook com o intuito de fomentar a implantação de telhados verdes naquele país. O manual é composto por três partes, das quais são tratados assuntos sobre o substrato e vegetação, concreto, isolamento e impermeabilização e orientações (SGRA, 2018). O projeto atende, dentre outros aspectos, a necessidade de diretrizes próprias para telhados verdes suecos e tem o objetivo de estabelecer princípios e requisitos básicos aplicados ao planejamento, implantação e manutenção.

3.7 Dificuldades e desvantagens

A literatura científica é concordante com relação a todos os benefícios proporcionados pelos telhados verdes, tanto em escala individual, quanto em escala urbana, mas na prática, o caráter quantitativo destes benefícios dependem de vários aspectos, principalmente aos relacionados a espessura, mistura e teor de umidade do substrato, das espécies vegetais e das condições climáticas com ênfase na umidade relativa do ar, que está diretamente relacionada ao mecanismo de evapotranspiração (THEODOSIOU, 2009).

Berndtsson (2010) afirma que existem na literatura muitos estudos sobre o potencial benéfico dos telhados verdes, porém a grande infinidade de características de projeto e o espaço de tempo ainda muito curto de estudos resultam em insuficientes evidências científicas sobre o assunto. Benefícios como a redução de ruídos, mitigação do efeito ilha de calor, melhoria na qualidade do ar, efeito de bem-estar psicológico da população, são aspectos difíceis de se quantificar, explica Carvalho (2018).

Os custos iniciais para a implantação de um telhado verde é uma das barreiras para sua disseminação. A necessidade de construção extra, manutenção e operação tornam o investimento significativamente maior quando se comparado ao telhado tradicional (CHEN, 2013). Ainda em relação a essa situação, vale mencionar o estudo de Niu *et al.* (2010) em Washington, nos Estados Unidos que demonstrou que a implantação de um telhado verde com 1.795 m² tem o custo de 27% maior do que para um telhado convencional. Porém, ao se considerar os benefícios no decorrer de 40 anos, o custo do TV é 25% menor. Entretanto, o custo ao longo de sua vida pode ser menor do que um telhado nu (NIU *et al.*, 2010; WONG *et al.*, 2003).

Por outro lado, Niu *et al.* (2010) concluem que o valor presente líquido dos telhados verdes, levando em consideração os benefícios ambientais, pode ser de 30%-40% menor que de um sistema convencional. A diminuição de consumo de energia desempenha papel significativo na redução de custos ao longo da vida da edificação com telhado verde KOSAREO; RIES, 2007).

Muitos estudos no passado não levaram em consideração os custos de manutenção dos telhados verdes (CHEN, 2013). Infelizmente estes custos podem ser as principais barreiras para a viabilidade de implantação da tecnologia (ZHANG *et al.*, 2012). Nagase, Dunnett e Choi (2013) salientam que além da implantação, a manutenção em telhados verdes também é um fator que deve ser levado em conta e há pouca pesquisa realizada nessa área de estudo. Os TV's necessitam de um eficiente sistema de irrigação, fertilização, podas e limpezas, necessitando, portanto, de ações frequentes de manutenção (CARVALHO, 2018).

Silva (2016) cita que o elevado custo de implantação e manutenção do telhado verde no Brasil, acrescido das condições abióticas de grande potencial estressante para as plantas, como a luz e a radiação solar, a temperatura e o vento, fazendo com que sejam necessárias avaliações frequentes quanto à sobrevivência e crescimento adequado, limitam a construção em maior escala de telhados verdes em clima tropical.

Vijayaraghavan (2016) levanta uma importante questão sobre a utilização de telhados verdes no que tange a energia gasta desde a produção até o transporte dos materiais e elementos, além da poluição causada na fabricação dos seus componentes, como os de materiais poliméricos. O pesquisador, no intuito de melhorar questões de sustentabilidade do processo, recomenda substituir o uso de polímeros por outros materiais na fabricação dos elementos.

Lira (2017) conclui em seu estudo que a eficiência energética de um telhado verde na sua fase operacional foi 45,6% menor que a mesma edificação com telhado convencional. Isso devido a menor transmitância térmica e conseqüentemente menor consumo de energia em uma edificação com esse sistema em comparação a um telhado convencional. Porém, o autor afirma ainda que os elementos do telhado verde elaborados a partir de poliéster representam a maior contribuição negativa nos impactos ambientais.

É importante ressaltar que os telhados verdes têm potencial para beneficiar vários setores do ambiente urbano, e assim sendo, para a viabilidade de sua implantação, devem ser consideradas todas as suas potencialidades. A análise de viabilidade econômica, social e ambiental não deve ser restrita a apenas uma característica, o que provavelmente o tornará inviável. Berndtsson (2010) cita que as decisões sobre a implantação e projeto do telhado verde devem ser baseadas a uma série de benefícios e não como uma técnica para se resolver apenas um problema específico da engenharia. Acrescenta ainda, que este sistema sozinho não é capaz de mitigar, por exemplo, o problema de escoamento das águas pluviais em períodos de chuvas intensas, mas quando sua destinação for associada aos benefícios estéticos, de conforto ambiental e redução de consumo de energia na habitação, torna-se uma alternativa viável e um investimento lucrativo.

As decisões por de trás da concepção e implantação dos telhados verdes devem ter caráter transdisciplinar e uma visão holística para garantir que nenhuma de suas funções ou benefício tenha efeitos prejudiciais sobre outros aspectos. Um exemplo seria a promoção de uma vegetação exuberante e abundante no telhado verde, o que notoriamente traria benefícios estéticos e para o clima interno e externo à edificação, mas que com a necessidade de fertilização frequente gera risco de poluir a água pluvial escoada (BERNDTSSON, 2010). Da mesma forma, os custos de manutenção durante sua vida, que tenderiam ser maiores devido a necessidade de maior frequência.

3.8 Telhado verde no Brasil

Se por um lado o telhado verde está sendo muito utilizado em países como Alemanha, Japão e Estados Unidos, no Brasil o ritmo não tem sido o mesmo, apesar do seu grande potencial frente aos problemas urbanos em clima tropical úmido (KÖHLER *et al.*, 2002). Essa inércia, em parte, tem origem na falta de interesse e incentivos. Todavia esta tendência se encontra em processo de reversão, de acordo com Silva (2016).

Silva (2016) diz que no Brasil, os telhados verdes são muito pouco utilizados devido ao alto custo de sua implantação, quando ocorrem, têm a função predominantemente estética. Acrescenta que sua dependência por estruturas reforçadas limita sua aplicação em alta escala e que o desenvolvimento de novas técnicas, mais baratas, possibilitariam aplicar o sistema em regiões com menos recursos, como as favelas.

Algumas cidades e estados brasileiros promovem, através de leis, a implantação dos telhados verdes, como é o caso do estado do Rio de Janeiro através da Lei 6.349/2012 que dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do "telhado verde" nos locais que especifica e dá outras providências, a cidade de Recife através do projeto de Lei 67/2013 que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", "ecotelhado" e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do

escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências, a cidade de Curitiba com o projeto de Lei 005.00006.2013 que visa tornar obrigatória a construção de telhados verdes nas edificações com três ou mais unidades agrupadas verticalmente e a cidade de Santos pelo projeto de lei complementar número 19/2015 que concede incentivos fiscais a condomínios que implantarem o “Telhado Verde” (SANTOS, 2019).

3.9 Plantas para telhado verde nos trópicos

Os estudos científicos sobre telhados verdes em países de clima tropical são deficientes, com poucos trabalhos publicados se comparado com os de clima temperado, onde o conhecimento está consolidado com relação à flora (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011). Somente espécies de plantas adaptadas desenvolverão nas condições estressantes típicas de nosso clima, mesmo em telhados verdes intensivos que têm manutenções frequentes, inclusive de irrigação (TAN; SIA, 2005). Existem várias publicações científicas para seleção de plantas para telhados verdes em regiões de clima frio e temperado, já para países de clima tropical, são escassas (DUNNETT *et al.*, 2008; GETTER *et al.*, 2009).

Em regiões de clima tropical, a variedade de espécies vegetais a ser utilizada deve passar por uma análise criteriosa. A escolha deve levar em conta a fisiologia das plantas que estarão expostas a condições estressantes do telhado, seja por seca, frio ou calor excessivos. Apesar de não haver problemas com congelamento nos trópicos e existir a vantagem de sazonalidade no crescimento (KÖHLER *et al.*, 2002), as condições abióticas são usualmente mais hostis às plantas se comparado a regiões de clima temperado (WILLIAMS; RAYNER; RAYNOR, 2010). Jim e Tsang (2011) acrescentam que nem todas as espécies adaptadas ao clima tropical encontram ambiente propício ao seu desenvolvimento sobre as coberturas, devido às condições de radiação solar e ventos que são mais intensas que ao nível do solo. Ainda há outros fatores que são cruciais como o calor extremo e chuvas torrenciais que lixiviam nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Apesar de haver vantagem para os telhados verdes implantados sob climas tropicais devido a não ocorrência de ciclos de congelamento (KÖHLER *et al.*, 2002), as condições extremas com relação à radiação solar, altas temperaturas e precipitações torrenciais fornecem um ambiente usualmente mais hostil para a vegetação (WILLIAMS; RAYNER; RAYNOR, 2010), mesmo para aquelas implantadas em telhados verdes intensivos, onde são ofertadas regas e outras ações de manutenção com maior frequência. Isso acarreta em um limitante para a implantação de telhados verdes em climas tropicais (TAN; SIA, 2005), pois nem mesmo as plantas que exigem maior espessura de substrato podem sobreviver, uma vez que as condições de radiação solar e vento são mais intensas no telhado que ao nível do solo (JIM; TSANG, 2011). Portanto, é ponto crucial para o sucesso de um telhado verde sob clima tropical a escolha adequada de espécies tolerantes a estes fatores abióticos extremos (SILVA, 2016).

Silva (2016) destaca em seu estudo, com base em Benzing (1990); Mantovani e Iglesias (2001), (2005), algumas espécies vegetais tolerantes à ambientes estressantes (SILVA *apud* BENZING, 1990; MANTOVANI; IGLESIAS, 2001, 2005):

- Halófitas - vivem em ambiente salino
- Epífitas - crescem sobre arbustos e árvores, quase sem substrato
- Litófitas - instalam em inselbergues e campos ruprestres, quase sem substrato)
- Psamófilas - enraizam em substrato arenoso

Bastos (2017) conclui em seu estudo sobre seleção de plantas para telhados verdes extensivos na Zona da Mata de Pernambuco, Brasil que as espécies *Calissia repens* (Dinheiro em penca – Herbácea reptante), *Clorophytum comosum* (Gravatinha - Herbácea), *Ophiopogon jaburan* (Barba de serpente – Herbácea), *Paspalum leptum 01* (Paspalum – Gramínea), *Portulaca grandiflora* (Onze horas – Herbácea) e *Sanseverina trifasciata* (Mini espada de São Jorge - Herbácea) apresentam potencial de aplicação (FIGURA 3.38).

Figura 3.38 – Seleção de plantas com potencial para telhado verde extensivo na Zona da Mata de Pernambuco: a) *Calissia repens*; b) *Clorophytum comosum*; c) *Ophiopogon jaburan*; d) *Paspalum lepton 01*; e) *Portulaca grandiflora*; f) *Sanseverina trifasciata*.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Fonte: Bastos (2017).

3.10 Patologia das construções

A engenharia se inspirou na medicina ao incorporar os seus termos no estudo das doenças das edificações. A patologia das construções é o ramo da engenharia civil que trata da reabilitação e conservação das construções através dos estudos e métodos investigativos de suas anomalias, estabelecimento de prognósticos, terapêutica e profilaxia (FRANÇA *et al.*, 2011). As manifestações patológicas podem ser adquiridas ainda na fase de concepção e de projeto, e/ou também na fase de construção, ou seja, no emprego inadequado de materiais e métodos construtivos (congenitamente) ou até mesmo serem adquiridas ao longo de sua vida por falta de acompanhamento adequado (manutenções preventivas e corretivas).

Silva (2003) explica que o surgimento de manifestações patológicas congênitas pode ser frequente se o projetista deixar de considerar alguns requisitos básicos no desenvolvimento do projeto, como por exemplo: construtibilidade, parâmetros relativos ao funcionamento e qualidade global da obra e as interações entre as diversas partes e materiais da construção.

O desempenho e durabilidade de uma construção (vida saudável e longevidade) dependem dos cuidados com a obra desde sua concepção e projeto (gestação), construção (crescimento) e com o uso, conservação e manutenção (durante todo o resto de sua vida), pois além de estar submetida à ação do ambiente e envelhecer naturalmente, pode adoecer precocemente, conforme foram os cuidados nas suas diversas fases de vida. Os materiais de construção não são perenes, envelhecem e precisam de cuidados e tratamento, porém podem ser reabilitados (SOUZA; RIPPER, 1998). Cánovas (1988) ensina que, e usando novamente a analogia com os termos médicos, há estruturas sadias e enfermas, como os seres vivos. As doentes, conseqüentemente tiveram uma vida com menores cuidados e apresentam cansaço, fadiga e ferimentos, precocemente.

Souza e Ripper (1998) acrescentam ainda que para a prescrição do remédio necessário para uma terapia eficaz em uma estrutura doente é absolutamente

necessário observar os sintomas e descobrir as causas, origens e mecanismos de formação das anomalias.

Por fim, Verçoza (1991) completa o entendimento sobre a associação da matéria da medicina na engenharia dizendo que as edificações apresentam defeitos comparáveis a doenças e a patologia das edificações é o ramo que se dedica ao estudo sistemático das causas, dos efeitos (diagnóstico) e sua correção (terapia), podendo ser dividida, como no campo médico em áreas específicas como patologia das fundações, patologia das alvenarias, patologia das obras de madeira, patologia das obras em metal, patologia de umidade, patologia de estruturas de concreto armado e assim por diante.

Jonov (2012) explica que as manifestações patológicas nas edificações têm diversas origens, e suas causas mais comuns são:

- Falha na avaliação da resistência do solo;
- Má definição de cargas e de suas combinações;
- Erros de dimensionamento da estrutura;
- Detalhamento insuficiente ou errado dos projetos;
- Falta de compatibilidade entre os projetos;
- Especificação inadequada de materiais;
- Não capacitação profissional da mão de obra;
- Inexistência de controle de qualidade de execução;
- Má qualidade de materiais e componentes.

Tais fatores endógenos, exógenos, funcionais e naturais podem interferir na edificação gerando problemas diversos e reduzindo consideravelmente sua vida útil.

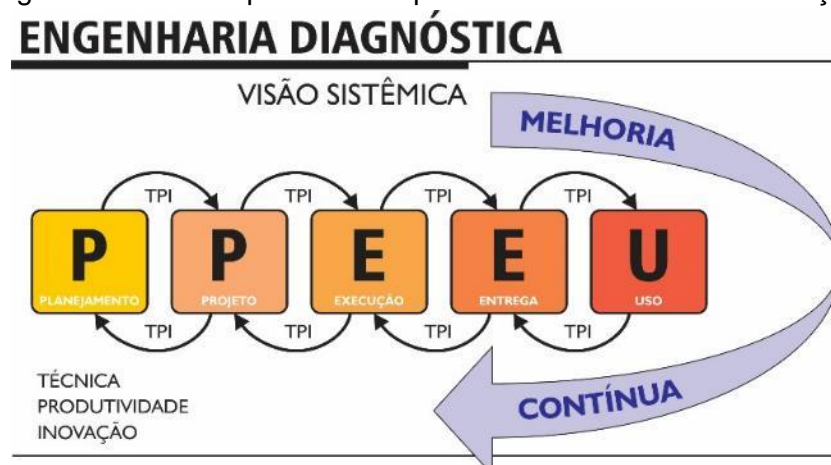
3.10.1 Desempenho, durabilidade e vida útil

Os materiais de construção, naturalmente, não são perenes e devido à ação do tempo e da agressividade do meio, estes e conseqüentemente as construções sofrem decadência progressiva de seu desempenho ao longo de sua vida. Diante dessa realidade, projetistas consideram este fenômeno e seus efeitos na estrutura, ponderando em projeto a especificação adequada de materiais e execução, além de todas as ações que podem ocorrer durante a fase de uso e operação, garantindo a adequada função para a qual foi projetada.

Com a publicação da Norma Brasileira ABNT NBR 15575: 2013 uma nova dinâmica no processo construtivo no Brasil se estabeleceu ao determinar atribuições individualizadas para cada interveniente em todas as fases da vida da edificação, desde sua concepção até seu uso. Esta norma tem o intuito de elevar a qualidade das habitações buscando a atenção da comunidade da construção brasileira para a necessidade de um produto durável através de um maior controle de projeto, execução, monitoramento e manutenção.

Como explicam Gomide, Fagundes Neto e Gullo (2014), as fases do processo construtivo podem ser classificadas em planejamento, projeto, execução, conclusão e uso, o que abrange todo o ciclo da construção, tradicionalmente conhecidas como PPEEU (planejamento, projeto, execução, entrega, uso) como ilustra a figura 3.39 oriunda da engenharia diagnóstica em edificações.

Figura 3.39 – Principais fase do processo construtivo da edificação



Fonte: Gomide, Fagundes Neto e Gullo (2015).

Gomide, Fagundes Neto e Gullo (2015) ensinam que na fase de projeto são exigidas as observâncias das normas, legislações e desempenho dos componentes e sistemas construtivos. Os autores destacam sobre a necessidade da retroalimentação nesta fase do processo construtivo a fim de se obter informações sobre as eventuais falhas diante das escolhas dos materiais, dos processos construtivos ou de concepções de projeto. Ainda na fase de projeto, em consonância com a NBR 15.575:2013, os projetistas devem especificar o nível de desempenho do produto. Na fase de execução, as atenções devem estar voltadas para garantir a aplicação correta do projetado, ou seja, com relação aos materiais especificados, métodos construtivos e fabricação dos componentes. A etapa de entrega do imóvel determina o momento em que é transferida a responsabilidade pela manutenção predial ao seu proprietário/usuário, sendo o ponto de partida para a contagem do prazo de garantia. A fase do uso requer, portanto, atenção com os procedimentos e periodicidade de manutenções.

As ações de manutenção são importantes e necessárias para a preservação do desempenho, garantir durabilidade e vida útil estimada em projeto das construções que estão expostas constantemente às ações de degradação, sejam elas devidas ao mau uso, por envelhecimento natural ou por anomalias de causas intrínsecas ou extrínsecas.

3.10.2 Engenharia diagnóstica em edificações

A engenharia diagnóstica se materializa através do estudo da saúde e a doença da construção, ou seja, o desempenho e a patologia. Como disciplina, foi apresentada em 2005 no I Seminário de Inspeção e Manutenção Predial do IBAPE/SP e a princípio tinha foco na investigação das diversas fases do desenvolvimento edilício (planejamento, projeto, execução e uso) com vistas a obter controle para a qualidade predial total através de manutenção com procedimentos corretivos, preventivos e até mesmo, preditivos. Assim sendo, a abrangência sistêmica apresentada à época, fundamentava nas questões técnicas referentes a anomalias construtivas (vertente técnica), anomalias funcionais (uso) e nas falhas (manutenção). De lá para cá, sem contrariar tais enfoques, a disciplina incorporou

novos aprimoramentos devido à evolução proporcionada pela aplicação da prática e publicações específicas, o que fez com que adentrasse definitivamente pelos caminhos da qualidade predial total e desempenho, incorporando as especialidades técnicas de se distinguir anomalias, prognosticar com base em sintomas e estabelecer terapias de manutenção e correção adequadas. Através da engenharia diagnóstica, faz-se garantir o bem-estar da construção através de cuidados para obter qualidade desde o planejamento e projeto (gestação), passando pela construção (crescimento) e posteriormente pelo resto de sua vida (manutenção) (GOMIDE; FAGUNDES NETO; GULLO, 2015), (GOMIDE ;FLORA, 2018).

Assim como exposto, e fazendo novamente um paralelo com a medicina, as construções necessitam de cuidados para ter qualidade e longevidade, assim como os seres vivos necessitam das ciências médicas para seu bem-estar. Cánovas (1988) ensina que a obra, da mesma forma que acontece com as pessoas, está constantemente submetida a ação de adversidades e sua resistência e durabilidade depende dos cuidados durante toda sua vida, além do que, com o passar do tempo, esta envelhece, resultando naturalmente na degradação dos materiais que a compõem. Gomide, Fagundes Neto e Gullo (2015, p.17) diz que “A engenharia diagnóstica em edificações é a arte de criar ações proativas, por meio dos diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas, visando a qualidade total”. Acrescentam ainda, sobre esse aspecto, que as ações de inspeção predial mostram ser um importante meio para detectar falhas e corrigir problemas, favorecendo consequentemente a qualidade predial.

Quando algum problema patológico está em curso numa edificação, essa apresenta sinais indicando que algo não está correto. A sintomatologia se preocupa em estudar estes sintomas a fim de diagnosticar estas manifestações patológicas que algumas vezes podem estar ocultas e ainda, mesmo evidentes, passarem despercebidas por leigos. Para se chegar num correto diagnóstico de uma manifestação patológica é necessária uma minuciosa inspeção visual e muitas vezes é preciso também realizar ensaios específicos e análises meticulosas dos projetos. Assim, é possível diagnosticar o problema, entendendo os mecanismos que originaram a ocorrência das anomalias e prescrever as terapias adequadas

para saná-los. Além do mais, o patologista deve também apresentar um prognóstico, detalhando as consequências, caso não sejam sanados os problemas (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

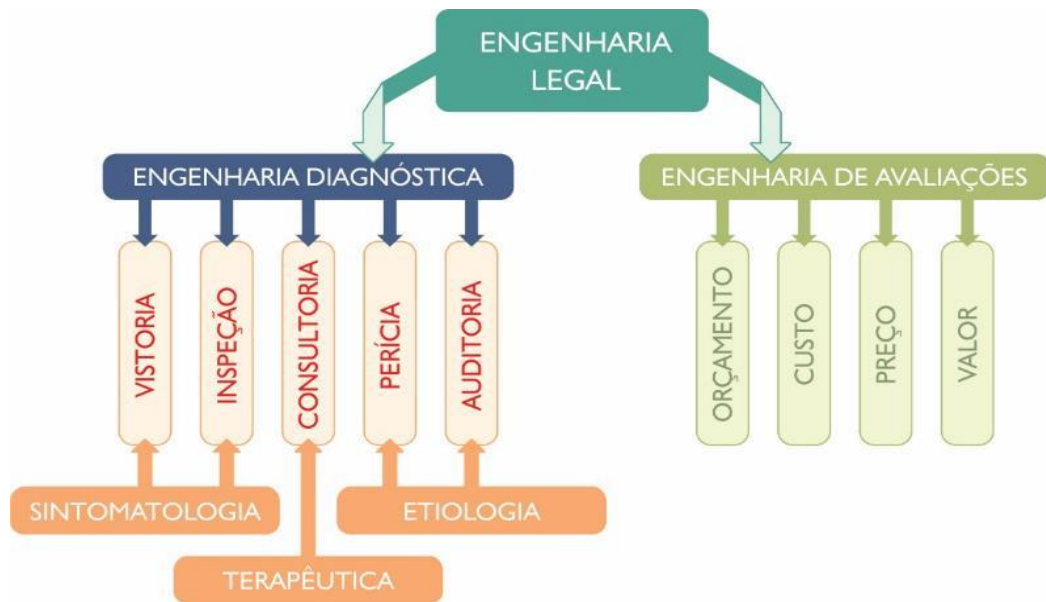
3.10.3 Inspeção predial

A necessidade de aprimoração contínua dos edifícios, abrangendo desde a etapa projetual, passando pela construção e até a fase pós-obra, favoreceu o surgimento da engenharia diagnóstica, onde a inspeção predial se insere como uma de suas ferramentas técnicas, aplicada especificamente na fase de uso (FIGURA 4.1). De acordo com Gomide, Fagundes Neto e Gullo (2014, p.11) “A inspeção predial é o checkup da edificação visando à boa qualidade predial e também a boa saúde de seus usuários”. É através desta ferramenta da engenharia diagnóstica que se busca ações proativas com relação à qualidade na gestão predial desde seu nascimento e ao longo de sua vida edilícia, através de diagnósticos, prognósticos e prescrições técnicas.

A inspeção predial, dentre o rol das ferramentas da engenharia diagnóstica, é um importante instrumento para apurar as condições de conservação, manutenção e segurança das edificações, tem respaldo e sistematização detalhada em normas técnicas com a finalidade de indicar as ações de correções e de prevenção com vistas à durabilidade e contribuindo ainda com a racionalização das despesas com manutenções tardias no decorrer da vida útil da edificação (Figura 3.40).

Tutikian e Pacheco (2013) frisam que as inspeções auxiliam na identificação do problema, porém deve-se proceder com a manutenção corretiva intervindo no elemento danificado, logo que identificado. Elucidam ainda que além da manutenção corretiva, para reparar determinado dano, há a manutenção preventiva para manter o desempenho e a preditiva ou detectiva, que através da instrumentação acompanha o desempenho do edifício, compondo então a engenharia de manutenção que é a maneira mais eficiente de garantir o desempenho e vida útil de uma edificação.

Figura 3.40 – A inspeção predial como ferramenta da engenharia diagnóstica

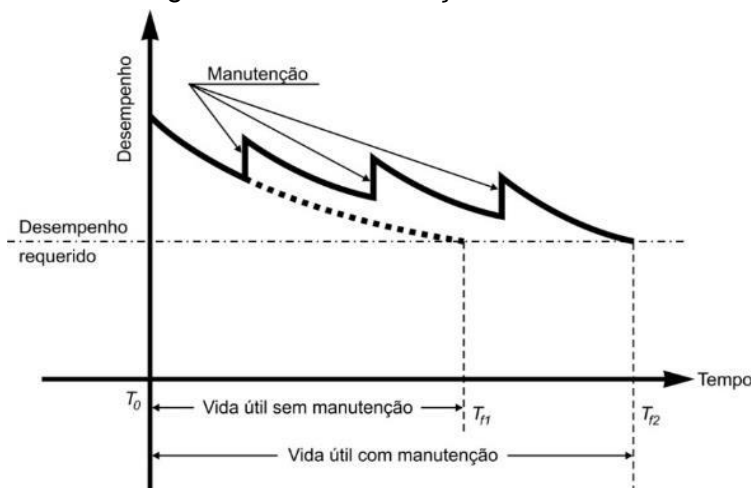


Fonte: Adaptado de Gomide, Fagundes Netto e Gullo (2014).

Gomide, Fagundes Netto e Gullo (2015) acrescentam que a inspeção predial tem um enfoque voltado para manutenção através de uma análise das condições técnicas em que o edifício apresenta já em sua fase de uso para garantia da durabilidade.

Assim sendo, considerando que a obra esteja em pleno uso, as ações de inspeção predial devem ser promovidas pelo usuário, visando garantir durabilidade ao edifício. Eventualmente a inspeção predial irá identificar, através de uma rotina sistemática, manutenções necessárias, garantindo que a vida útil projetada da edificação seja alcançada ou até mesmo extrapolada (FIGURA 3.41).

Figura 3.41 – Manutenção e vida útil



Fonte: Adaptado da NBR 15575:2013.

O IBAPE/SP – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo – no ano de 2002 publicou a primeira versão da Norma de Inspeção Predial com última atualização em 2011. Em paralelo, o IBAPE nacional publicou sua Norma de Inspeção Predial Nacional em 2009 com versão atualizada no ano de 2012 em colaboração às normas ABNT NBR 5674/2012 - Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, ABNT NBR 15575-1/2013 - Desempenho, a fim de contribuir com a segurança, funcionalidade, manutenção adequada e valorização patrimonial dos edifícios. Em 2020 foi publicada pela ABNT a Norma NBR 16747 Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento, uniformizando a metodologia a ser empregada nesta atividade.

É notória a importância das inspeções periódicas para subsidiar planos de manutenções evitando que muitos problemas se intensifiquem e cheguem a comprometer o desempenho e durabilidade de uma edificação. Pujadas (2012) acrescenta que através da inspeção predial são classificadas as anomalias em grau de risco orientando planos de reparos e de manutenção, bem como seus registros. Contudo, apesar da importância da inspeção predial, em muitos lugares no Brasil não tem obrigatoriedade determinada em lei, ficando a cargo dos administradores dos edifícios a decisão de implantação de um programa de inspeção para agir de forma incisiva, ainda que precocemente nos processos de degradação dos sistemas construtivos. Porém, já há no Rio de Janeiro, por exemplo, uma lei municipal – Lei Complementar 126/13 (26/03/13) que Institui a obrigatoriedade de realização de vistorias técnicas nas edificações existentes no Município do Rio de Janeiro e dá outras providências, e a lei estadual – Lei Estadual Nº 6400, de 05 de março de 2013, que determina a realização periódica por autovistoria, a ser realizada pelos condomínios ou por proprietários dos prédios residenciais, comerciais e pelo poder público, nos prédios públicos, incluindo estruturas, fachadas, empenas, marquises, telhados e obras de contenção de encostas bem como todas as suas instalações e cria laudo técnico de vistoria predial (LTVP) no estado do Rio de Janeiro e dá outras providências, estabelece a periodicidade para as vistorias técnicas, tendo como objetivo a verificação das condições de conservação, estabilidade e segurança e garantir, quando necessário, o cumprimento das medidas reparadoras.

3.10.4 Degradação dos materiais de construção

Os materiais podem ser degradados pela interação físico-química do ambiente entre ambos, mas estas interações só ocorrem quando há migração de agentes agressivos pelo interior do material. No caso dos materiais de construção, em que sua estrutura é caracterizada pela presença de porosidade natural, substâncias presentes no ambiente, sejam líquidas ou gasosas, podem penetrá-los. Este transporte pelo seu interior é a base dos fenômenos de degradação dos mesmos e a presença de água é fundamental para que quase todos os processos de degradação se instalem (BERTOLINI, 2010).

Souza *et al.* (2017) afirmam que a durabilidade dos materiais está associada às condições ambientais em que a construção está submetida e que as variáveis atmosféricas influenciam determinantemente na degradação destes e logicamente, das construções. Em complemento, Lencioni, Lima e Morelli (2006) também afirmam que as interações do meio ambiente com os materiais de construção, tais como compostos atmosféricos, poluição atmosférica, vento, radiação solar, temperatura, chuva, umidade relativa, são importantes e devem ser consideradas, pois estes fenômenos os degradam e implicam em redução da durabilidade das construções.

Silva, Carvalho Júnior e Branco (2003) ensinam que a grande diversidade de agentes intervenientes na cadeia produtiva do setor da construção civil, bem como de materiais utilizados, resulta em diferentes padrões de qualidade, o que inevitavelmente afetará a qualidade do produto final. Os autores acrescentam que a diversidade no processo de produção engloba desde os agentes responsáveis pelo planejamento, estudos preliminares, projetos, mão de obra de execução, fabricantes de materiais, usuários e os responsáveis pela manutenção, durante a vida útil da edificação.

Demoliner e Possan (2013) acrescentam ainda que a degradação prematura dos microssistemas constituintes de uma edificação se deve a fatores como falta de manutenção preventiva, falha de projeto, problemas de execução, uso inadequado e ou baixa qualidade dos materiais e componentes empregados, o que pode gerar

envelhecimento precoce do sistema, e quando ocorre, compromete o desempenho e durabilidade da edificação.

3.10.5 Degradação das estruturas de concreto armado

As causas de deterioração do concreto armado podem ter origem no âmbito conceutivo/projetual, executivo e de utilização. As formas de prevenir a aparição de anomalias nas estruturas de concreto armado envolve um conjunto de ações associadas a estes três campos. Bertolini (2010, p. 158) diz que “a prevenção da degradação começa no projeto da obra, continua durante a construção e pode prosseguir durante sua vida útil com intervenções programadas de inspeção e manutenção”.

Cánovas (1988) explica que a vida da estrutura está intimamente ligada à qualidade de projeto e da execução e que estes têm grande influência na intensidade de danos devido ao envelhecimento, que é um fenômeno inevitável em que os materiais e componentes da estrutura estão sujeitos.

Na etapa de concepção e projeto (estudo preliminar, lançamento da estrutura, anteprojeto, projeto executivo) os problemas podem estar relacionados a (JONOV, 2012; SOUZA; RIPPER, 1998):

- a) Inadequação de elementos de projeto, como a má avaliação da resistência do solo, má definição das ações atuantes, deficiência no cálculo da estrutura, falta de compatibilização entre estrutura e projeto arquitetônico e complementares;
- b) Detalhamentos, inclusive os que se referem à defesa da estrutura contra a agressividade do meio ambiente;
- c) Especificação de materiais.

Nesta fase, exige-se a garantia de facilidade de execução dos elementos projetados e especificados e de manutenção, bem como plena satisfação do usuário. Bertolini (2010) salienta que o projetista, para garantir vida útil ao objeto

do projeto, deve prever todas às ações impostas à estrutura, inclusive as relacionadas à agressividade do meio ambiente onde este será exposto, e adotar medidas projetuais adequadas.

Com relação à etapa executiva, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, como falta de condições locais de trabalho, falta de qualidade técnica profissional da mão de obra, inexistência de controle de qualidade nos processos de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem (SOUZA; RIPPER, 1998). Enfim, as manifestações patológicas oriundas da fase de execução são, fundamentalmente, associadas ao processo de produção e as exigências estão relacionadas com a garantia de fidelidade ao projeto. Bertolini (2010, p. 165) afirma que “as escolhas de projeto devem ser confirmadas por controles adequados de qualidade na hora de executar as obras”.

Já com relação à utilização é necessário conferir o correto emprego da estrutura e um programa de manutenção apropriado. Souza e Ripper (1998, p.27) citam que “as estruturas podem vir a apresentar problemas patológicos originados da utilização errônea ou da falta de um programa de manutenção adequado”.

As causas da deterioração das estruturas de concreto armado necessitam ser devidamente conhecidas para que as ações terapêuticas possam ser eficazes e inclusive com garantia de que não haja recorrências. Assim sendo, o tratamento adequado deve, além de tratar os sintomas, diagnosticar e agir corretamente nas causas.

Souza e Ripper (1998) distribui as causas de deterioração do concreto armado em duas classificações, as intrínsecas, inerentes às estruturas e as extrínsecas que podem ser vistas como os fatores que atacam a estrutura de fora para dentro:

a) Causas intrínsecas

Falha humana durante a construção gerando deficiências de concretagem, inadequação de escoramentos e fôrmas, deficiências nas armaduras, utilização incorreta dos materiais de construção e inexistência de controle de qualidade, falhas humanas durante a utilização através de ausência de

manutenção e causas naturais por serem próprias à estrutura porosa do concreto que levam a ocorrência de ataques químicos, ações físicas e biológicas.

b) Causas extrínsecas

Falhas humanas durante o projeto, falhas humanas durante a execução, falhas humanas na fase de utilização, ações mecânicas como choques e impactos, recalque de fundações, abalos sísmicos, explosões, inundações e grandes tempestades, ações físicas como variação de temperatura, insolação, atuação da água, ações químicas e ações biológicas.

Assim sendo, as manifestações patológicas das estruturas de concreto podem ser congênicas ou podem ser adquiridas ao longo de sua vida. Para um correto diagnóstico, deve-se atentar para a sintomatologia apresentada. A tabela 3.3 resume os principais tipos de deterioração do concreto armado, os quais serão detalhados seguidamente.

Tabela 3.3 - Causas da deterioração das estruturas

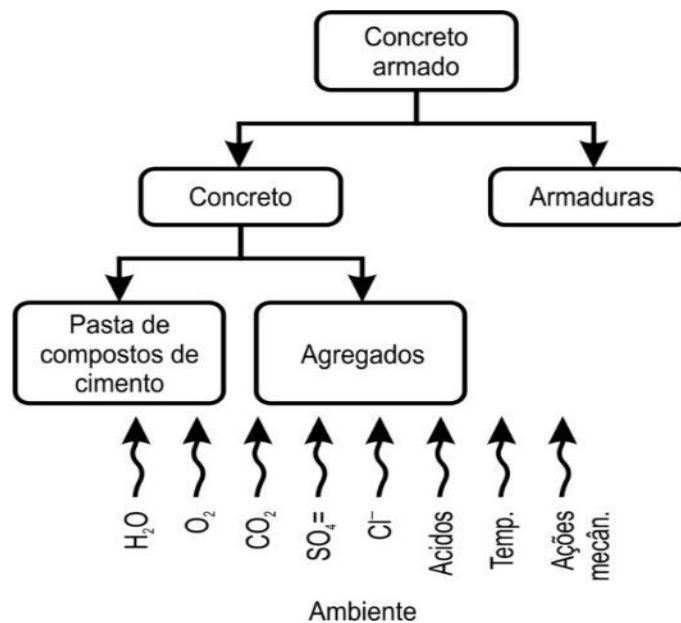
Processos Físicos	Desgaste superficial	Abrasão		
		Erosão		
		Cavitação		
	Fissuração	Mudança de volume	Perda de água por evaporação	Retração plástica
				Retração hidráulica
			Hidratação do cimento	
			Mudança de temperatura	Gradiente térmico
		Dilatação térmica		
	Carbonatação			
	Exposição a extremos de temperatura	Ação do fogo		
Gelo-degelo				
Processos mecânicos	Fissuração	Carregamento estrutural	Ações aplicadas	
			Recalques diferenciais	
	Acidentes imprevisíveis	Choques		
		Impactos		

		Explosões
		Abalos sísmicos
		Inundações
Processos Químicos	Concreto	Reação com sulfatos
		Reação álcali-agregado
		Lixiviação
	Armaduras	Carbonatação
		Ação dos cloretos
		Corrosão por contato galvânico
		Correntes dispersas
Processos Biológicos	Concreto	Enraizamento de plantas
		Crescimento de microrganismos
		Sulfetos na presença de bactérias aeróbicas

Fonte: Adaptado de Bertolini (2010); Cánovas (1988); Neville e Brooks (2013); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).

Todos os mecanismos de degradação com relação à deterioração das estruturas de concreto armado, estão relacionados com a penetração de agentes a partir da superfície para o interior (FIGURA 3.42). A presença de água ou umidade é o fator mais importante nos mecanismos de transporte e deterioração, interferindo substancialmente na durabilidade da estrutura.

Figura 3.42 - Ação do ambiente em uma estrutura de concreto armado



Fonte: Bertolini (2010)

Com frequência, a ação do ambiente gera deterioração em longo prazo às estruturas de concreto armado. Estes danos iniciam-se em sua superfície e avançam gradativamente para seu interior.

3.10.6 Deterioração do concreto

Como vimos na tabela 3.3, os principais processos de deterioração do concreto podem ser classificados em físicos, como o desgaste superficial e fissuração, em mecânicos, como os recalques diferenciais, carregamentos excessivos e impactos, em químicos, como as reações com o sulfato, RAA e lixiviação e de processo biológico, como por exemplo, através da ação do enraizamento de plantas.

a) Processos físicos

- Desgaste superficial

Souza e Ripper (1998) explica que este tipo de deterioração do concreto pode ter como causa diversos agentes, porém os mais comuns são a água e o ar que carregam partículas sólidas onde a intensidade da perda de massa depende da velocidade, da quantidade, forma, dureza e tamanho dos sólidos suspensos, bem como da resistência e porosidade do concreto atacado. O desgaste superficial resultante do atrito entre sólidos em meio seco é denominado abrasão, o causado pela ação abrasiva de fluidos contendo partículas sólidas suspensas, de erosão e, por fim, a cavitação, que é decorrente de bolhas de vapor geradas pela mudança repentina de direção de águas que fluem com alta velocidade.

- Fissuração devido à mudança de volume

Tensões internas podem gerar fissuras no concreto devido à baixa resistência que o este apresenta quanto à tração e por estar submetido à retração e expansão. O problema é gerado por mudanças de temperatura e perda de água e ainda por carbonatação. Assim sendo, o fenômeno de fissuração é inevitável e natural, mas passa a ser considerada uma manifestação patológica em função da dimensão da abertura e de suas causas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Neville e Brooks (2013) explica que a retração é causada pela perda de água por evaporação, ou pela hidratação do cimento e ainda pela carbonatação. As fissuras plásticas surgem através do fenômeno chamado de retração plástica e acontece, portanto, antes do concreto endurecer. Já no concreto endurecido, a saída de água causa retração hidráulica ou por secagem.

Souza e Ripper (1998) dizem que a retração hidráulica é uma ocorrência natural, e que diante das restrições opostas por obstáculos internos, como as armaduras e externos, como a vinculação a outras peças estruturais, as peças apresentam fissuração.

Neville e Brooks (2013) explicam que a perda de água por evaporação ou pela hidratação do cimento causa retração do concreto que induz tensões de tração e conseqüentemente fissuração. Acrescenta ainda que o processo de carbonatação eleva a quantidade total de retração por secagem.

A retração por carbonatação, de acordo com Neville e Brooks (2013) acontece através da decomposição dos compostos do cimento, principalmente do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) com o dióxido de carbono (CO_2) e na presença de água, gerando contração do concreto.

Ainda com relação a quadros de fissuração, Verçoza (1991) ensina que as variações de temperatura fazem com que o concreto aumente ou diminua de volume e que pela variação térmica, a camada epidérmica muda de temperatura mais rapidamente que as camadas mais internas, logo, sempre que houver diferenças de temperatura superiores a 20º, o concreto irá fissurar. Souza e Ripper (1998) acrescentam que a insolação ou a incidência direta do sol, principalmente quando gera gradientes térmicos, é também uma das principais ações físicas agressivas às estruturas de concreto por provocar dilatação diferencial nas peças.

- Fissuração devido à exposição a extremos de temperatura

As altas temperaturas resultantes de eventos de incêndios podem ser muito danosas aos edifícios, que inclusive podem gerar grandes deformações e

levá-lo ao colapso. Os materiais de construção podem sofrer alteração química, decompor, amolecer, fundir e carbonizar, além de, em certos materiais, entrarem em combustão e agravar as consequências do incêndio (BERTOLINI, 2010). Outra ocorrência que vale ressaltar é o evento de gelo-degelo, embora não ser comum no Brasil, porém em obras de câmaras frias, por exemplo, podem ocorrer. A água absorvida pelos materiais e componentes de construção e que congela em seu interior pode fissurá-los através do aumento de volume e geração de tensões internas. Cânovas (1988) diz que a água ao congelar tem um aumento de volume na ordem de 9% e que a geada sobre um concreto endurecido começa a gerar efeitos danosos sempre que este apresentar coeficiente de saturação superior a 0,9 (relação entre a água absorvida e porosidade relativa do concreto).

b) Processos mecânicos

- Fissuração devido ao carregamento estrutural

Como foi dito, pode-se afirmar que a fissuração é um fenômeno inevitável no concreto armado, pois o mesmo tem baixa resistência à tração. Assim sendo, nem toda fissura nos elementos estruturais são manifestações patológicas. Souza e Ripper (1998) explicam que a classificação de uma ocorrência de fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre das causas, intensidade e magnitude do quadro existente, visto que por natureza o concreto tem baixa resistência à tração e, portanto, fissurará. Entretanto, em algumas circunstâncias as causas de quadros fissuratórios são também decorrentes de carregamentos não considerados em projeto, erros de estimativas e combinação de valores dos carregamentos e uso inadequado da estrutura.

- Fissuração devido a recalques diferenciais

Além da fissuração gerada pela aplicação de carregamentos não considerados na estrutura, as geradas por recalque diferencial são de considerável importância. Souza e Ripper (1998) explicam que devido a insuficiência de investigação do solo ou interpretação errônea dos resultados de sondagens, levando a uma definição inadequada das fundações de uma construção, geram por consequência, recalques de apoio, ocasionando em

manifestações patológicas de fissuração da superestrutura e também de elementos de vedação. Verçoza (1991) afirma que na maior parte das ocorrências de recalques, as causas estão relacionadas à falta de sondagem e consequente projeto imperfeito das fundações.

- Acidentes imprevisíveis

Embora o concreto tenha alta resistência mecânica, este material apresenta comportamento semelhante a de um vidro quando submetido a impacto, que apesar de sua dureza, quebra quando recebe uma força instantânea muito elevada (VERÇOZA, 1991). As rupturas por choques surgem no instante da ocorrência e vão desde o simples desgaste superficial a destruição total da peça (SOUZA; RIPPER, 1998). Outro tipo de ação imprevisível e que pode trazer consequências para os elementos da construção são as inundações. A magnitude dos danos causados por este evento está diretamente ligada à velocidade e contaminantes presentes na água e em especial, a profundidade e duração da inundação (JONOV, 2012).

c) Processos químicos

- Reação com sulfatos

As águas e solos contendo sulfatos reagem com a pasta de cimento, o que resulta em compostos expansivos e deletérios. A consequência da expansão é a fissuração e lascamento do concreto, o tornando friável. Neville e Brooks (2013) explicam que a deterioração do concreto atacado por sulfato normalmente começa pelas bordas e cantos e que a particularidade do ataque é a formação de sulfato de cálcio (CaSO_4) e sulfoaluminato de cálcio (etringita), ambos os compostos têm maior volume dos que os originaram e portanto, esta expansão resulta em ruptura do concreto endurecido. Souza e Ripper (1998) acrescenta que os sulfatos, sejam os de magnésio, cálcio, potássio, sódio e o de amônio, são extremamente agressivos e ao fim de algum tempo, acarretam em total desagregação do concreto.

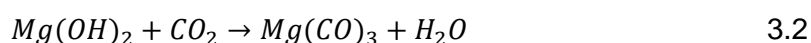
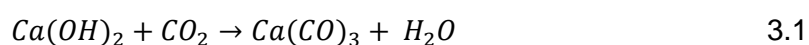
- Reação álcali agregado

A RAA é outra reação expansiva deletéria no concreto onde os álcalis do cimento como o óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) e íons hidroxila reagem com certos agregados reativos (sílica) formando um gel expansivo que o circunda, resultando em fissuração e desagregação da pasta de cimento hidratada. A presença da água é essencial para desencadear o processo. Souza e Ripper (1998) afirma que o concreto acometido por este problema apresenta fissuração externa e internamente e perde a durabilidade em grande velocidade devido à abertura para penetração de vários outros agentes agressivos.

- Lixiviação

A água que percola um concreto fissurado ou com alta permeabilidade também é responsável para desencadear o mecanismo de formação da lixiviação que provoca dissolução dos compostos da pasta de cimento reduzindo sua resistência mecânica e ainda abrindo caminho para gases e líquidos nocivos, inclusive à armadura. O sintoma mais característico é o surgimento de eflorescência.

Souza e Ripper (1998) explica que quando consegue percolar por um concreto, a água lixivia o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formando um depósito de carbonato de cálcio (CaCO_3) em sua superfície quando a água evapora e devido a reação com o dióxido de carbono. Esta substância embranquecida é chamada de eflorescência e pode ser advinda da cristalização de outros sais como mostram as equações 4.1 e 4.2. Cenários com alternância de períodos ensolarados e precipitações favorecem a lixiviação, além da variação volumétrica (SOUZA *et al.*, 2017).



Neville e Brooks (2013) afirmam que a eflorescência, em geral, não é prejudicial, porém, se a lixiviação for progressiva, isto acarretará em um aumento da porosidade do concreto, o que poderá resultar em redução de

sua resistência mecânica e o deixará mais susceptível a ataques de agentes agressivos externos.

d) Processos biológicos

As ações biológicas no concreto podem trazer danos principalmente de fissuração. O enraizamento de plantas e o crescimento de microorganismos que penetram e ocupam os espaços dentro da massa estrutural geram tensões internas que fraturam o concreto e podem abrir frente para ataques de outros agentes nocivos. Ainda, o ataque biológico pode ser resultante de ácidos gerados pelas raízes das plantas e algas, crescimento de fungos e dos sulfetos presentes nos esgotos, que na presença de bactérias aeróbicas, amolecem a pasta de cimento através da descalcificação do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998). Verçozza (1991) completa ao dizer que fungos, bactérias e bolores podem causar corrosão no concreto e que os vegetais, com o seu desenvolvimento e através do enraizamento nas estruturas, podem rompê-las.

3.10.7 Deterioração da armadura

a) Processos químicos

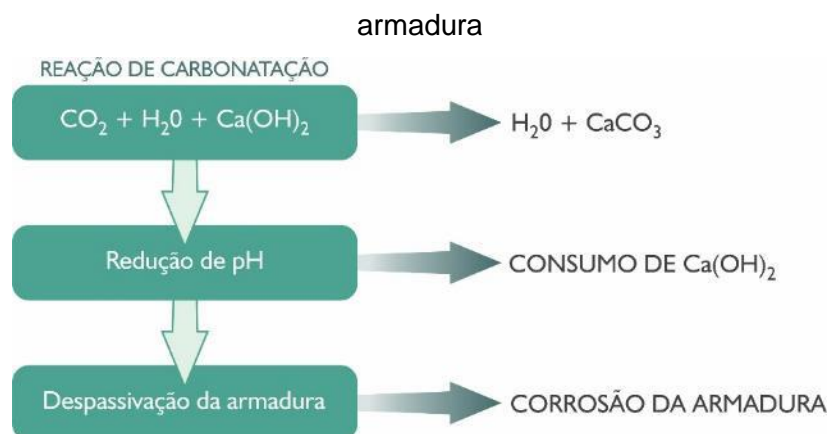
O concreto tem natureza altamente alcalina devido ao hidróxido de cálcio (pH em torno de 13), o que protege a armadura contra corrosão. Porém, se o concreto for suficientemente permeável, possibilitando que a carbonatação ou que soluções com cloreto penetrem a profundidade em contato com a armadura e na presença de água e oxigênio, dará início ao processo de corrosão do aço que perde sua camada passivadora quando o pH cai para abaixo de 11.

- Carbonatação

O maior problema gerado pela carbonatação do concreto armado está associado à desp passivação das armaduras e sua conseqüente corrosão, pois este processo diminui o pH do concreto para cerca de 9. A reação do dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera com o cimento hidratado e na presença de umidade é formado ácido carbônico (H_2CO_3) que reage com

o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, a reação resulta em água e carbonato de cálcio ($H_2O + CaCO_3$). Neville e Brooks (2013) afirmam que a natureza alcalina da pasta de cimento hidratada é neutralizada pelo processo de carbonatação (consumo de $Ca(OH)_2$) resultando em prejuízo da proteção do aço contra a corrosão. A figura 3.43 mostra o mecanismo da carbonatação do concreto até a possível despassivação da armadura abrindo frente para o início do processo de corrosão.

Figura 3.43 – Mecanismo de carbonatação do concreto podendo gerar corrosão da armadura



Fonte: Adaptado de Bertolini (2010); Cánovas (1988); Neville e Brooks (2013); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).

- Ação de cloretos

O ataque por cloretos, que penetram o concreto através de absorção capilar, impregnação, permeação, migração e difusão, despassiva a superfície do aço quando nele o teor de íons cloreto supera a concentração de íons hidroxila. O resultado é uma corrosão localizada, podendo chegar à ruptura do elemento. Bertolini (2010) observa que o ataque à armadura inicia quando a concentração de íons cloreto na solução dos poros do concreto em contato o aço atinge um valor capaz de romper o filme de passividade.

- Corrosão por contato galvânico

Todos os materiais tem um potencial elétrico que é definido pelos elétrons livres na sua massa. Quando há um diferencial elétrico em materiais vizinhos, há uma troca de elétrons com tendência a estabelecer um equilíbrio o que resulta em depósito de material numa área e retirada noutra. É o que

acontece quando dois metais diferentes estão em contato. Porém, para que a corrente elétrica se forme, é necessária a presença de um eletrólito, que em geral, é a água ionizada ($Ca(OH)$ em solução) que percola o concreto (VERÇOZA, 1991). Geralmente, sobre o metal mais nobre ocorre reação catódica e no menos nobre ocorre a reação anódica, onde se verifica um aumento de velocidade de corrosão no metal polarizado anodicamente (BERTOLINI, 2010).

- Correntes dispersas

Em casos bastantes específicos, correntes de fuga podem circular no solo. Geralmente em locais com linhas de trem e bonde e de aterramento de proteção catódica de linhas de transmissão de alta tensão. Tais correntes podem ter consequências na corrosão do aço em estruturas enterradas. No entanto, Bertolini (2010) afirma que este tipo de fenômeno é mais incisivo em estruturas metálicas e que nas estruturas de concreto armado não tem efeito relevante, a não ser no caso em que as armaduras já estiverem corroendo pela ação da carbonatação ou dos cloretos.

3.10.8 Deterioração das estruturas de aço

Em contato com ambientes agressivos, os materiais metálicos ficam sujeitos à corrosão e suas consequências que vão desde a alteração de aspectos visuais até perigosas rupturas imprevistas. As formas de corrosão e suas consequências estão ligadas a maneira de como ocorre o ataque. Conforme (NEVILLE; BROOKS, 2013), os tipos de corrosão podem ser:

a) Do tipo uniforme

A corrosão uniforme acontece em uma velocidade semelhante em toda a superfície do metal e o resultado do ataque é o adelgaçamento da parede do elemento. É um processo menos perigoso, pois a velocidade de penetração é mais lenta e o problema pode ser contornado ainda em fase de projeto, com previsão de um superdimensionamento da espessura da parede do elemento.

b) Do tipo localizada

Seja por condições diferenciadas de exposição, ou seja, por heterogeneidade do material metálico, algumas partes do elemento metálico podem sofrer com velocidades diferenciadas de corrosão. O ataque corrosivo pode concentrar-se em determinadas áreas, acarretando em um maior consumo do metal.

c) Do tipo dissolução seletiva

Neste tipo de corrosão, um determinado componente da liga metálica, em geral, o mais reativo, é consumido seletivamente.

d) Do tipo associado à sollicitação mecânica

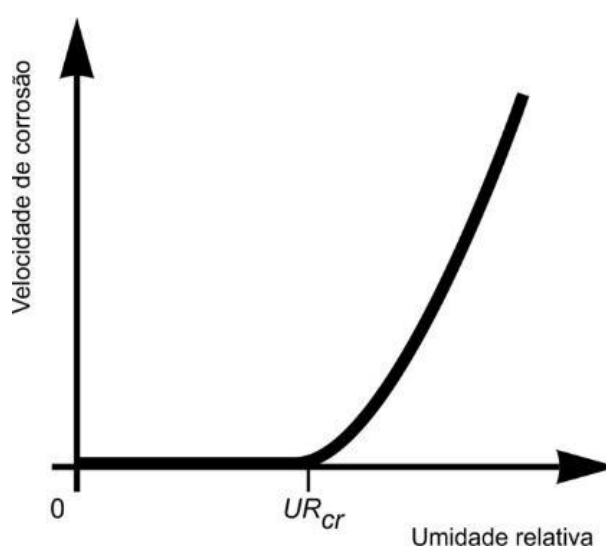
Um elemento metálico geralmente está submetido mecanicamente e sujeito, ao mesmo tempo, à ação corrosiva do meio ambiente. Este tipo pode manifestar-se na forma de corrosão-erosão, corrosão sob tensão, e corrosão fadiga. A ação combinada do ambiente corrosivo e da sollicitação mecânica origina um processo de degradação mais rápido, pois ação mecânica que resulta em corrosão na peça, somada à corrosão própria do ambiente, ocasiona em um processo corrosivo muito maior do que a simples soma dos efeitos de cada um.

Na construção civil, a maior parte das estruturas metálicas fica exposta à atmosfera e desse modo, sob a presença de umidade, pode desencadear um processo degradativo do material, denominado corrosão atmosférica. Uma finíssima camada de véu líquido é suficiente para desencadear o fenômeno, mas quando a camada é suficientemente espessa a ponto de propiciar o transporte de corrente e suficientemente pequena para não atrapalhar o aporte de oxigênio, o processo encontra as condições mais adequadas para atacar com maior velocidade. Assim sendo, os fatores meteorológicos, bem como os climáticos têm grande influência na magnitude da corrosão das estruturas de aço. A frequência de precipitações, os ciclos de condensação de água, a presença de neblina, a umidade relativa, a temperatura, as condições de exposição em relação ao vento e ao aquecimento do sol são os fatores mais importantes na capacidade de promover a corrosão do aço.

Muitas vezes a água na superfície do metal se forma através de um filme líquido muito sutil, não sendo visível a olho nu, diferentemente quando em eventos de

chuva e orvalho que a água é perceptível (BERTOLINI, 2010). O autor explica que sob certo valor de umidade relativa, denominado umidade relativa crítica (UR_{cr}) que em geral é em torno de 70-75%, forma-se por condensação, um filme líquido capaz de promover a corrosão do aço. Abaixo deste limite, a velocidade de corrosão é negligenciável, porém, quando o limite é atingido, a velocidade de corrosão aumenta rapidamente (FIGURA 3.44).

Figura 3.44 – Velocidade de corrosão de um metal exposto à atmosfera, em função da umidade relativa



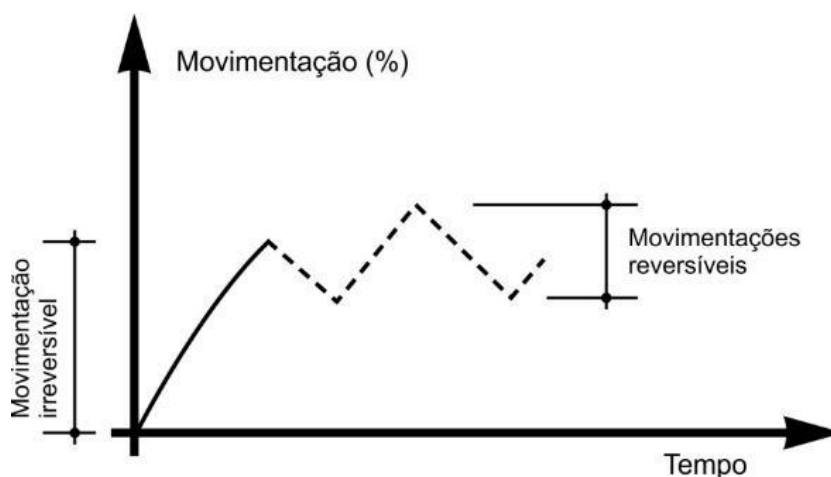
Fonte: Bertolini (2010).

3.10.9 Deterioração de alvenarias

Os elementos de vedações verticais são elementos compostos por diversos materiais, entre os quais se podem citar os tijolos, as argamassas de assentamento e de reboco, tintas, pedras e cerâmicas. Bertolini (2010) diz que este sistema complexo pode sofrer degradação de natureza mecânica e ou do ambiente, sendo que os fenômenos físico-químicos, com poucas exceções, ocorrem na presença de água ou quando há na alvenaria um alto teor de umidade. A água também pode favorecer o desenvolvimento de agentes biológicos e corrosão de eventuais insertes metálicos nas paredes.

A quantidade de água absorvida por um material depende de sua porosidade e capilaridade e resulta em dilatação e após a evaporação, em retração. Estas movimentações podem ser reversíveis e irreversíveis (FIGURA 3.45). As movimentações irreversíveis em materiais de construção geralmente se dão após o processo de fabricação, tendo como causa a perda e ganho de água até seu equilíbrio higroscópico. Já as movimentações reversíveis ocorrem por este estar sujeito a variações de umidade e se encontram em certo intervalo, nunca retornando ao seu volume original mesmo quando saturado completamente (THOMAZ, 1989).

Figura 3.45 - Movimentações reversíveis e irreversíveis devidas à variação do teor de umidade



Fonte: Thomaz (1989).

Problemas patológicos relativos à umidade são frequentes e representam uma das mais importantes anomalias que podem acometer a edificação durante sua vida útil. Sua ocorrência está associada à idade da construção, ao clima, aos materiais utilizados, às técnicas construtivas e ao nível de controle de qualidade adotadas na execução e podem se manifestar de diversas formas, tais como manchas acompanhadas ou não da formação de vesículas e eflorescências, formação de bolor ou mofo e aparecimento de fissuras e trincas (JONOV; NASCIMENTO; SILVA, 2013).

A eflorescência é uma das duas categorias das florescências que, de acordo com Menezes *et al.* (2006) não produz esforços mecânicos importantes, pois a

cristalização dos sais acontece na superfície do material. A outra categoria, denominada subflorescências ou criptoflorescências é mais importante, já que os depósitos salinos se formam sob a superfície, no interior do material, através dos poros e rede capilar. Essa precipitação gera esforços consideráveis causando degradação microestrutural em zonas próximas às superfícies. Os autores concluem em seu trabalho com tijolos cerâmicos de 25 olarias no estado da Paraíba que a absoluta maioria das amostras tem elevada tendência a eflorescência, porém não encontraram uma correlação bem definida entre o teor de sais solúveis das matérias primas e o nível de eflorescência das peças cerâmicas.

As conseqüentes movimentações higroscópicas pela penetração de umidade nas alvenarias podem gerar tensões que resultarão em fissuras no elemento de vedação fazendo com que a umidade entre cada vez com maior intensidade. Estas movimentações podem provocar destacamento e problemas de aderência entre os componentes de alvenaria e a argamassa de assentamento e revestimento (THOMAZ, 1989). Além disso, a permanência da umidade nas paredes pode comprometer a habitabilidade, pois geram problemas de mofo, fungos e redução da propriedade de isolamento térmico (BERTOLINI, 2010).

A origem de umidade em uma parede pode ser do processo de fabricação dos componentes, na atividade de execução, na exposição a uma atmosfera úmida, nas chuvas (descendente), nos sistemas de drenagem ou hidrosanitários defeituosos e na absorção capilar (ascendente). A presença dessa umidade pode gerar fenômenos de degradação por movimentações higroscópicas, por ação química, física e biológica. Bertolini (2010) afirma que estas manifestações patológicas se desenvolvem simultaneamente ou se sucedem em alternância numa ação progressiva no tempo.

O principal mecanismo de degradação corresponde a ação química. Algumas reações químicas podem ocorrer com a presença de água e gerar alterações nos componentes da alvenaria, podendo também provocar a formação de novos compostos no seu interior. Os materiais podem fissurar devido às tensões produzidas pela ação física da cristalização de compostos em seus poros. As

fissuras nas paredes, causadas por umidade, geralmente são acompanhadas de eflorescências.

Menezes *et al.* (2006) explicam que além de fontes de sais e da presença de água na construção, condições ambientais propícias para promover a percolação dessa água para o interior dos materiais e sua evaporação num processo cíclico, são essenciais para a formação das florescências.

Ademais, Bertolini (2010) explica que a água em contato com revestimentos argamassados e argamassas de assentamento compostas de cal e gesso provoca dissolução e erosão das fases que têm elevada solubilidade, mas as reações químicas provenientes dos sais dissolvidos na água absorvida pela alvenaria são as mais importantes. Com a presença de sulfatos em condições úmidas, as argamassas com cimento podem sofrer ataque, ocorrendo processo de degradação, da mesma maneira que ocorre com o concreto.

3.10.10 Deterioração das obras em madeira

Na construção civil, a madeira é comumente utilizada, principalmente na execução de telhados de telhas cerâmicas. (PFEIL, M.; PFEIL W., 2003) dizem que a madeira como material para a construção civil é provavelmente o mais antigo e está sujeito a degradação biológica. (MORESCHI, 2013) acrescenta que os agentes deterioradores da madeira atacam não de forma isolada, mas sim, de uma maneira combinada e simultânea, tais como as bactérias, os fungos e os insetos, sendo que a umidade é fator preponderante para o ataque bacteriano e fúngico.

Bertolini (2010) diz que os ambientes úmidos e ou com ciclos de molhado e seco, ou também sob a ação direta das chuvas são particularmente críticos para a madeira, visto que o efeito das modificações dimensionais decorrentes de variações cíclicas de teor de umidade proporciona a fissuração, o que favorece a deposição de esporos de fungos e ovos de insetos.

Com relação aos ataques biológicos, entre os principais agentes deterioradores da madeira, os fungos são os mais importantes devido a maior frequência de ocorrência, pois a grande variedade abre amplas possibilidades para se instalarem em um extenso universo de especificidade de condições ambientais. Moreschi (2013) cita que a madeira pode ser degradada dentro de uma grande variedade de ambientes que proporcionam condição ideal para o desenvolvimento de um fungo, podendo ainda haver a ocorrência de mais de uma espécie concomitantemente, dependendo da compatibilidade entre elas e das condições favoráveis que estas encontram no material.

Para haver a proliferação de fungos na madeira, Bertolini (2010) explica que a mesma deve apresentar um teor de umidade acima de 20% e que o próprio fungo, depois de instalado, contribui para manter a madeira úmida. Moreschi (2013) acrescenta que além do teor de umidade, a fonte alimentícia, a temperatura, o teor de oxigênio livre e o pH são condições básicas para a instalação e desenvolvimento destas colônias.

Os fungos se alimentam da madeira. O material orgânico em questão é a celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, levando à sua decomposição após o ataque químico. Segundo Moreschi (2013, p. 11), “além do aspecto da madeira atacada, ocorre uma progressiva perda de peso e da resistência da madeira, pelo contínuo consumo da celulose, da hemicelulose e da lignina”.

Menos importante que o ataque por fungos, é o ataque por bactérias devido a lentidão de seus efeitos. A principal implicação deste tipo de degradação é o consumo das células radiais e tecidos vizinhos tornando a madeira mais higroscópica (MORESCHI, 2013). Normalmente as alterações de higroscopicidade da madeira são indesejáveis, pois acentuam os problemas correspondentes à absorção de umidade. “A principal consequência deste ataque é o aumento da permeabilidade da madeira, por causa da degradação das membranas presentes entre as células.” (BERTOLINI, 2010, p. 218)

Ainda sobre o tema, Moreschi (2013) destaca que as bactérias são os primeiros organismos a se instalarem na madeira úmida, seu ataque é lento, através de suas

enzimas, porém além do ataque enzimático, outras substâncias podem favorecer o desenvolvimento de outros agentes, o que torna importante este tipo de biodeterioração. Já o ataque por fungos tem maior importância quando se comparado ao bacteriano, pois seus efeitos são mais rápidos e novamente há necessidade de umidade para as colônias se instalarem.

Referente aos insetos xilófagos, segundo Bertolini (2010) os ataques podem ocasionar sérios danos às estruturas devido à perda de resistência mecânica e geralmente só são notados quando há uma ruptura de um elemento estrutural. De acordo com Souza *et al.* (2017) grande parte da degradação da madeira está relacionada aos insetos, destes, os cupins são os mais representativos. Algumas espécies encontram em condições de elevada umidade a condição ideal para sua proliferação. Outras espécies encontram na madeira seca as condições propícias para se instalarem. Bertolini (2010) diz que os ambientes quentes ou temperados e em madeira úmida favorece o desenvolvimento das térmitas, a agressão se dá normalmente em pontos de contato da madeira com a alvenaria ou em pontos de infiltração de água pluvial.

No geral, os ataques biológicos, tanto dos insetos xilófagos, quanto dos fungos e bactérias são possíveis somente com a presença de umidade (BERTOLINI, 2010), (MORESCHI, 2013), (SOUZA *et al.*, 2017). Novamente os mecanismos de degradação tem relação com a presença de água.

As variações volumétricas na madeira devido à absorção de água podem trazer problemas de fissuras nos apoios onde a mesma está ancorada, mas os problemas mais importantes do contato da madeira com a umidade estão relacionados à biodeterioração. Bertolini (2010) afirma que os mais importantes agentes agressivos para a madeira são os organismos vivos e que estes ataques biológicos geralmente só são possíveis na presença da umidade.

O motivo da facilidade de adsorção de umidade nas paredes das células da madeira é a atração por hidrólise de seus constituintes químicos, principalmente a celulose, o que determina sua expansão. Esta adsorção bem como a evaporação de água nas paredes das células da madeira resulta em dilatação e contração.

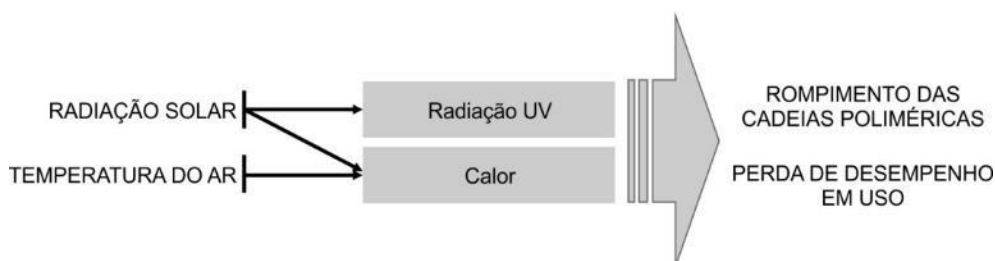
Sendo a madeira um material anisotrópico, seu aumento de volume se dá em maior quantidade no sentido transversal às fibras e numa escala menor no sentido longitudinal (BERTOLINI, 2010).

3.10.11 Degradação de polímeros

Os polímeros estão presentes em muitos dos materiais utilizados na construção, dentre eles podem-se citar os materiais para impermeabilização, adesivos, pinturas e revestimentos protetores, selantes (BERTOLINI, 2010), elementos de PVC como os tubos para instalações hidráulicas e elétricas, forros, telhas, placas acrílicas transparentes, dentre outros (SOUZA *et al.*, 2017).

Diferentemente da maioria dos materiais de construção, os materiais poliméricos geralmente não sofrem degradação com a presença da água, porém são sensíveis à radiação solar e calor. Souza *et al.* (2017) dizem que ao contrário dos metais, cuja corrosão tem causas eletroquímicas, os processos de degradação do polímeros são de natureza físico-química por meio de rompimento das ligações moleculares, o que acarreta em perda de peso molecular, reduzindo sua resistência mecânica e química. Acrescentam que as quebras das ligações podem acontecer devido à exposição às radiações, ao calor ou alguns agentes químicos. Os polímeros expostos ao ambiente são fortemente degradados pela ação combinada do oxigênio, radiação solar e calor (FIGURA 3.46).

Figura 3.46 – Ação dos agentes atmosféricos na degradação dos materiais poliméricos



Fonte: Souza *et al.* (2017)

Assim sendo, os materiais poliméricos são muito mais sensíveis à temperatura do que outros materiais de construção e mesmo sem a presença de oxigênio e de radiações, mas somente sob altas temperaturas observa-se uma degradação térmica que leva a uma perda irreversível de resistência, rigidez e durabilidade

(BERTOLINI, 2010). O autor acrescenta que os materiais poliméricos, em geral, não sofrem ataque biológico e em sua maior parte são hidro-repelentes e, portanto, absorvem muito menos água que as substâncias orgânicas naturais. Por atuarem em ambiente com umidade, os organismos vivos ainda não desenvolveram enzimas com a capacidade de deteriorar estes materiais.

3.11 Manifestações patológicas em telhado verde

Vários estudos têm abordado os telhados verdes nas questões ambientais e aos benefícios que eles proporcionam a nível macro e micro (OHNUMA JUNIOR; GOMES; SILVA, 2017). Entretanto, há poucos desenvolvimentos, principalmente no Brasil, com relação a planos de gestão e manutenção, bem como sobre as anomalias que podem acometer o sistema e a edificação durante sua vida útil.

As principais preocupações com a implantação do telhado verde são os possíveis danos que essa tecnologia pode gerar às superfícies das coberturas e se referem especialmente aos problemas de infiltração (CHEN, 2013). É importante ressaltar, como já explicitado anteriormente, que a presença de água ou umidade é condição principal para desencadear processos deterioração dos materiais de construção, interferindo substancialmente na vida do ambiente construído.

Nesse sentido, a água é um dos principais causadores de problemas nas edificações e pode gerar sérios danos à estrutura (RIGHI, 2009). Queruz (2007) acrescenta que a água, seja ela no estado líquido, sólido ou mesmo enquanto vapor é um meio de instalação de outros agentes de degradação. De modo geral, em telhados verdes, ela é oriunda das chuvas ou do sistema de irrigação, que com a ação do vento sua penetração é intensificada devido ao aumento da pressão junto às superfícies, mas também pode ter origem em falhas nos sistemas de drenagem, tendo como principal causa a sua obstrução pelos sedimentos do substrato e das plantas. Esses sedimentos, oriundos de uma cobertura com telhado verde podem provocar o empoçamento das águas das chuvas que causam vários problemas aos materiais de construção e à edificação como um todo, inclusive podendo sobrecarregar a estrutura.

Para que o sistema de impermeabilização tenha desempenho satisfatório, todas as fases de concepção e projeto, escolha dos materiais e execução exigem atenção. Na fase de projeto tem-se a possibilidade de eliminar a maioria dos problemas que poderão surgir no decorrer da vida do sistema. Os problemas quase sempre resultam em perda da estanqueidade e a consequente infiltração das águas através da cobertura (ALVES, 2013).

Ainda, além dos problemas provenientes de falhas na impermeabilização, outros, como o enraizamento nos materiais de construção, alagamentos pela contenção das águas devido ao entupimento dos coletores de drenagem pelos sedimentos e sobrecargas, são preocupantes. Osmundson (1999) afirma que uma falha em algum dos elementos constituintes do telhado verde poderá prejudicar todo ele e consequentemente afetar a edificação da qual está implantado.

De acordo com Alves (2013), as coberturas devem satisfazer as seguintes exigências funcionais: exigência de segurança, exigência de habitabilidade, exigência de durabilidade e exigência de economia. Acrescenta ainda que estas exigências se aplicam não só para a cobertura como um todo, mas sim para cada um de seus microssistemas constituintes. A qualidade das camadas de isolamento térmico e impermeabilização contribuem para atender às exigências de habitabilidade, enquanto que as providências para a proteção dos elementos estão diretamente ligadas à durabilidade do sistema.

Souza e Ripper (1998) ressaltam que para a proteção de uma estrutura de concreto armado exposta a ação do tempo, como por exemplo, a laje de cobertura, deve-se proceder com sua perfeita impermeabilização, a fim de garantir que os mecanismos de transporte de agentes deletérios, como a água, não a prejudique.

Para garantir sua função de estanqueidade às águas, o sistema de impermeabilização de uma cobertura deve atender os parâmetros mostrados na tabela 3.4 (ALVES, 2013).

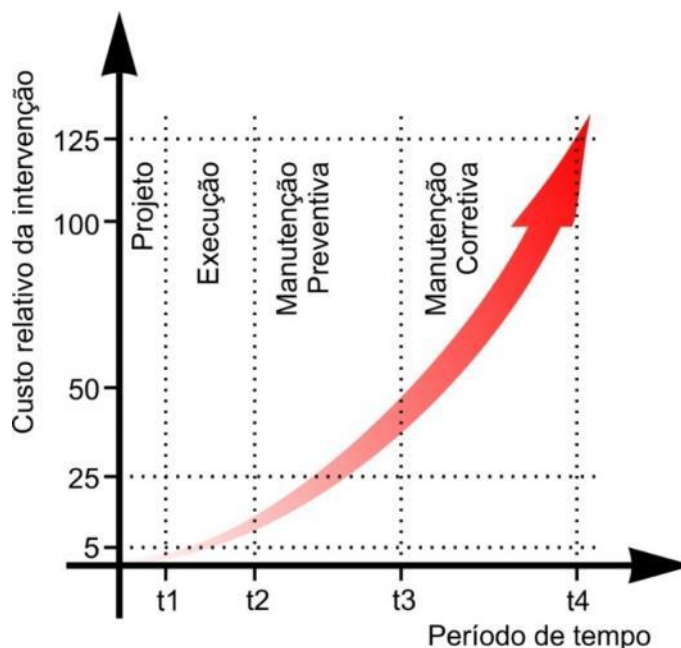
Tabela 3.4 – Exigências técnicas de um sistema de impermeabilização de cobertura

Parâmetro	Exigência	Preceito
Resistência ao vento	Aderência	Instalação adequada
Temperatura	Manter as características para variações de temperatura significativas	Material adequado
Radiação solar	Resistência à radiação ultravioleta e infravermelha	Material adequado
Água	Estanqueidade da chuva, gelo, umidade e condensação	Projeto, instalação e material adequados
Agentes químicos	Resistência a gases atmosféricos e óleos em terraços de parques de estacionamento de automóvel e ácidos em telhados verdes	Material adequado
Compatibilidade entre materiais	Compatível particularmente entre as camadas contíguas	Material adequado
Ações microbiológicas	Resistência a fungos, bolores, bactérias e criptogâmicas	Material adequado
Ações macrobiológicas	Resistência a plantas, insetos, pássaros e pequenos animais, particularmente roedores	Material adequado
Deformações da estrutura resistente	Suportar deformações térmicas: alongamentos/encurtamentos e carregamento da estrutura	Projeto e material adequados
Cargas de serviço	Resistência ao punçãoamento estático e dinâmico	Projeto, instalação e material adequados
Circulação de pessoas e veículos	Resistência ao tráfego	Camada de proteção mecânica

Fonte: Adaptado de Alves (2013).

Assim sendo, o sistema de impermeabilização é essencial para garantir o desempenho e durabilidade das coberturas verdes, que neste caso necessita de um conjunto de procedimentos específicos e devem ser concebidos de acordo com a escolha do tipo de vegetação a ser adotada (GATTO, 2012). Ademais, para se prolongar a vida útil dos sistemas de impermeabilização, a adoção de medidas de manutenção periódicas preventivas é de suma importância, o que resulta ainda em economia, pelo fato de que as ações de reparação são significativamente mais onerosas. Impende salientar que o custo da intervenção é tanto menor quanto o tempo gasto para detecção e resolução do problema. Este conceito também é válido para todos os sistemas que compõem uma construção e é bem representado pela figura 3.47 da Lei de Sitter de 1984.

Figura 3.47 - Lei de Sitter (1984)



Além dos problemas de umidade e infiltração oriundos de um telhado verde, os causados pela sobrecarga também podem ocorrer se manifestando na forma de deformações, fissuras, trincas e fendas na estrutura e nos elementos de vedação e em última instância, ocasionando colapsos estruturais. As deformações excessivas em lajes e vigamentos, além de impor uma sensação de insegurança aos usuários da edificação, podem gerar, como já dito, quadros fissuratórios de magnitudes acima dos aceitáveis e especificados em norma. A NBR 6118:2014 determina limites para fissuras em função do elemento e da classe de agressividade do ambiente. Prates (2012) ressalta sobre a importância da estrutura, onde será colocado o telhado verde, suportar o excesso de carga e para não ser um problema para a edificação deve haver cálculos prévios visando sua implantação.

De acordo com Prates (2012), os problemas inerentes aos telhados verdes são passíveis de prevenção. Para isso é necessário adotar medidas relevantes nas fases de projeto, implantação e manutenção. Para diminuir riscos com problemas futuros, o autor elenca medidas importantes baseadas nas observações de Palha, Contreras e Pereira (2012):

- Projetar de acordo com as normas;
- Ter acompanhamento de especialistas das diversas áreas (engenheiros, arquitetos, paisagistas e outros);
- Utilizar sistemas testados e aprovados;
- Buscar por empresas e técnicos de instalação certificados;
- Planejar e proceder com a correta manutenção da cobertura.

3.11.1 Anomalias pela ação da água

A água pode ter acesso aos materiais de construção já no seu próprio processo de fabricação, ao ser utilizada em excesso, acima do necessário ao processo de hidratação dos ligantes hidráulicos, também na fase de execução da obra ao umedecer os materiais para que os mesmos não roubem a água necessária da hidratação dos ligantes hidráulicos, o que geralmente eleva a umidade a valores muito acima da umidade higroscópica de equilíbrio originando-se uma expansão e contração após evaporação, ou para atender ao requisito de trabalhabilidade em caso de concretos e argamassas e ainda, o acesso pode ser através do solo, pelo contato direto entre ambos, resultando em sérios inconvenientes aos pisos e bases de paredes (THOMAZ, 1989).

Os materiais e elementos da construção também podem absorver quantidades consideráveis de água da chuva, bem como da umidade do ar, seja na forma de vapor ou na fase líquida após condensação. A porosidade e a capilaridade são características que determinam o quanto o material é capaz de absorver umidade (THOMAZ, 1989). Os materiais cerâmicos apresentam pequena variação de volume devido às movimentações reversíveis advindas da umidade, por outro lado as madeiras são, dos materiais de construção, os mais sensíveis às movimentações higroscópicas. Exemplo disso, é observado no ponto de apoio do madeiramento das coberturas na alvenaria, onde é comum o surgimento de fissuras devido às movimentações reversíveis pela absorção de água (THOMAZ, 1989).

Thomaz (1989) diz ainda que com o aumento do teor de umidade, os materiais de construção apresentam expansão e quando da diminuição deste teor, estes se

contraem e caso haja restrição para essa movimentação, a tendência é o surgimento de fissuras tanto nos elementos quanto nos componentes do sistema construtivo. Em sua maioria, os elementos e componentes de construção são porosos e assim sendo, apresentam esta capacidade de absorção de água, o que conseqüentemente irá causar a variação de volume com alterações indesejadas, e conforme consta na literatura, a agressividade da água no concreto está diretamente ligada a quantidade e ao tempo de permanência que o mesmo ficará em contato com ela (SOUZA; RIPPER, 1998). Tal fator exige, portanto, que em um telhado verde o sistema de impermeabilização tenha uma atenção especial. A membrana de impermeabilização é o componente mais importante e vital para o sucesso e longevidade do telhado verde (TOLDERLUND, 2010).

Prates (2012) diz que nos telhados verdes a durabilidade da membrana de impermeabilização pode ser duas vezes maior do que num telhado tradicional, devido a proteção que o sistema proporciona a mesma. Assim sendo, no caso do TV, os elementos de impermeabilização têm uma proteção extra, o que se consegue pelo cobrimento da mesma evitando a incidência direta de raios solares e elevadas temperaturas. Kosareo e Ries (2007) explicam que a vida útil de uma cobertura pode ser estendida por 25 anos ao se instalar um telhado verde, ou seja, o dobro de tempo que um telhado convencional. Isso implica em menor manutenção e maior tempo para ser substituída.

De acordo com Kuhn e Peck (2000), embora o telhado verde proteja a membrana de impermeabilização contra danos causados por perfurações e radiação solar, duplicando sua vida útil, vazamentos ainda podem ocorrer, com maior frequência devido a problemas de instalação do que falha do material.

Ainda sobre o texto, é importante salientar que, apesar da proteção promovida pelo telhado verde ao sistema de impermeabilização de uma cobertura, ao protegê-la do calor e da radiação solar direta, a movimentação de pessoas, seja ela para a utilização do espaço, seja ela para manutenção do TV, a deixa sob risco de danos, principalmente em ações de manutenção, no acesso ou no manuseio descuidado de ferramentas para tal. Alves (2013) afirma que as principais anomalias em sistemas de impermeabilização estão associadas à perfuração e fissuração das

membranas. A falta de inspeção para detecção e conseguinte ação de manutenção corretiva imediata é fator preponderante para acelerar a degradação dos materiais e evolução dos problemas patológicos para outros sistemas. Como em qualquer outro tipo de cobertura, as inspeções visuais programadas para verificar vazamentos neste sistema são necessárias e importantes.

Quando bem executadas, as inspeções representam ferramentas essenciais para garantir a durabilidade da construção. Tendo consciência dessa necessidade, a realização de inspeções periódicas no TV é indispensável, o que possibilita constatar e avaliar danos e tratar anomalias. As ações de manutenções periódicas, como a limpeza das lajes de cobertura, bem como dos coletores do sistema de drenagem e a garantia da integridade da impermeabilização de coberturas, têm extrema importância no combate à infiltração prolongada de águas das chuvas, o que evita problemas patológicos sérios à construção (SOUZA; RIPPER, 1998).

As falhas no sistema de drenagem, que irão ocasionar em alagamentos são consequências, principalmente, do entupimento dos ralos com os próprios detritos da vegetação do telhado verde. Assim sendo, as ações de manutenção preventiva devem ser criteriosamente executadas.

Ainda no que concerne aos problemas no sistema de impermeabilização em um telhado verde, esses podem também ter origem na ineficiência do sistema anti-raiz, deixando promover um processo de biodeterioração nos materiais e componentes da construção e por ações de manutenção descuidada do TV, a ponto de perfurar a manta impermeabilizante com ferramentas de jardinagem (ALVES, 2013). Acrescenta-se também as deficiências de manutenções preventivas que podem acarretar em alagamentos, gerando infiltrações e ainda, o fenômeno de dilatação térmica que pode tracionar e fissurar a película. Ademais, o sistema naturalmente envelhece com o passar do tempo e necessitará de manutenções corretivas em longo prazo. Kuhn e Peck (2000) afirmam que eventualmente entre 30-50 anos a impermeabilização necessariamente terá que ser substituída.

3.11.2 Anomalias por enraizamento nos materiais de construção

Há necessidade de aplicação de uma camada de proteção anti-raiz que poderá ser a aplicação de uma película de herbicida, aplicação de pintura a base de alcatrão com polímero ou uma camada de laminado como folhas de cobre (MORGADO, 2008). Este procedimento garante a integridade do sistema de impermeabilização.

Ainda sobre as raízes e rizomas, esses também trazem problemas quando chegam até os ralos de drenagem, pois podem entupi-los. Assim sendo, um lastro de pedras deve ser colocado ao redor dos ralos estendendo por no mínimo 0,30 metros por todos os lados. Os drenos devem ser inspecionados no mínimo duas vezes no ano (ANSI/SPRI RP-14, 2016).

A norma americana ANSI/SPRI VR-1 foi desenvolvida para testar a resistência dos componentes do telhado verde às raízes e rizomas, incluindo a própria barreira contra raiz, bordas, costuras e todos os itens de fixação (ANSI/SPRI VR-1, 2018). Foi baseada na diretriz alemã FLL e apesar de poder também ser utilizada para testar os tipos de barreiras com inibidores químicos, o procedimento não é adequado para avaliar este tipo de proteção contra raiz no decorrer do tempo, pois com o passar dos anos, a proteção pode ser minimizada perante a alterações químicas ou por ataques microbianos.

3.11.3 Anomalias devido à sobrecarga

Os esforços impostos às estruturas que receberão telhados verdes devem ser criteriosamente considerados, inclusive em eventos onde o sistema de drenagem falhe e faça com que a cobertura acumule uma espessa lâmina d'água. Pode ocorrer colapso da estrutura (FIGURA 3.48) caso o dimensionamento seja incorreto ou se empregue sistemas de drenagem inadequados, o que introduz uma grande sobrecarga ao sistema (PALHA; CONTRERAS; PEREIRA, 2012) apud (PRATES, 2012).

Figura 3.48 - Colapso da estrutura devido à sobrecarga



Fonte: Palha, Contreras e Pereira (2012) apud Prates (2012).

3.12 Exigências de desempenho de telhado verde

Os edifícios devem atender às exigências básicas de forma a garantir a satisfação de seus usuários. A norma brasileira, NBR 15.575:2013 trata dos critérios relacionados ao desempenho das edificações, a fim de garantir qualidade e segurança e estabelece exigências com relação aos quesitos de conforto e qualidade dos vários sistemas constituintes de um edifício, dentre eles, a cobertura.

Os sistemas de coberturas, além de proteger o corpo da construção de intempéries e impedir a infiltração de umidade para seu interior, exerce função na durabilidade dos demais sistemas que o compõem, prevenindo contra processos de degradação dos materiais de construção como: apodrecimento, corrosão, fissuras de origem higrotérmica dentre outros e, portanto, devem ser projetados e executados de maneira a proteger os demais sistemas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Com relação aos telhados verdes, estes devem apresentar ao longo de sua vida útil e independentemente dos materiais e soluções construtivas adotadas, resposta às necessidades de seus ocupantes, atendendo, portanto, sua função primordial, ou seja, a proteção do edifício contra as intempéries (COELHO, 2014).

A tabela 3.5, elaborada a partir de uma pesquisa realizada por Coelho (2014), apresenta uma compilação de requisitos essenciais para os elementos que compõem os telhados verdes.

Tabela 3.5 - Exigências a serem satisfeitas pelos telhados verdes

Exigência	Descrição
Resistência mecânica e estabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ações de cargas permanentes e acidentais ▪ Puncionamento ▪ Ação do vento
Segurança contra incêndio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistência ao fogo
Higiene, saúde e ambiente interno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estanqueidade
Segurança na utilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acesso para ações de manutenção e reparo ▪ Dispositivos de segurança para a realização das ações
Proteção contra ruído	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolamento acústico ao ruído ambiente e de percussão dos espaços subjacentes
Economia de energia e isolamento térmico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conforto térmico
Utilização sustentável dos recursos naturais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidade, conservação das características dos materiais ▪ Limitação do custo global, custos de construção, conservação e manutenção

Fonte: Adaptado de Coelho (2014).

3.13 Requisitos técnicos e detalhes construtivos

A prevenção da degradação prematura das camadas constituintes de um telhado verde e dos microssistemas de uma edificação da qual este esteja instalado passa necessariamente por alguns aspectos importantes de projeto e de execução. Tais aspectos construtivos devem ser adotados como estratégia para prevenir, inibir e também tratar a ocorrência de anomalias, bem como para viabilizar as ações de manutenção durante sua vida, inclusive no que se diz respeito à segurança. Esses serão abordados a seguir.

3.13.1 Disponibilidade adequada de acesso

Nem todos os telhados verdes são projetados para acesso regular de pessoas, como jardim ou terraço, o que proporciona uma área de lazer e sociabilização.

Alguns são concebidos para não serem acessíveis (COELHO, 2014). Peck e Callaghan (1999) esclarece que os telhados verdes podem ser caracterizados como acessíveis, quando este for projetado para o uso das pessoas ou inacessíveis, quando a circulação de pessoas é restringida às visitas técnicas e para manutenção. Esse tipo de situação requer, mesmo para àqueles telhados verdes do tipo inacessíveis, previsão de circulação de pessoas e devem estar preparados para isso. Além disso, a necessidade de se transportar materiais quando da construção de um TV, bem como durante sua vida, exige ao projetista prever acessibilidade adequada.

Silva (2012) destaca que mesmo as coberturas verdes menos exigentes necessitam de transporte de materiais de jardinagem e, portanto, este é um fator importante a se considerar no projeto de implantação e manutenção. Como ensina Tolderlund (2010), a forma ideal de acesso se dá por meio de escadas ou elevadores e deve ser de tal forma que proporcione segurança às pessoas que desenvolverão as ações de instalação e manutenção. Coelho (2014) acrescenta que se o transporte vertical de materiais tiver que ser por içamento ou através de escada móvel ou guinchos, o custo de manutenção do TV aumentará. A

b)

mostra artifícios de lançamento de materiais em uma cobertura sem acesso interior.

Figura 3.49 - Equipamentos utilizados para transporte vertical de materiais.
a) Lançamento de substrato por guindaste; b) Lançamento de substrato por bomba pneumática



a)



b)

Fonte: NCDEQ (2017).

3.13.2 Segurança para trabalhos em altura

É necessário utilizar artifícios para garantir a segurança dos instaladores, equipe de manutenção e utilizadores dos espaços de telhados verdes. Linhas de vidas (FIGURA 3.50), sistemas de ancoragem e guarda corpos fazem parte dos sistemas de segurança. Deve-se atender às Normas Regulamentadoras NR18 e NR35 do Ministério do Trabalho e Emprego.

Figura 3.50 - Sistema contra queda para trabalhos em altura



Fonte: Zinco (2018a).

Para minimizar o potencial de quedas o NCDEQ (2017) recomenda dispor de acessos internos e externos adequados, instalar ou construir guarda corpo em todo o perímetro do telhado verde e usar sinalização indicativa alertando sobre os limites de bordas para os usuários e equipes de manutenção (FIGURA 3.51).

Figura 3.51 - Guarda corpo para proteção contra queda



Fonte: Fonte: Zinco (2018a).

O equipamento adequado deve estar sempre disponível para garantir as condições de segurança aos trabalhadores. Além de sistemas de ancoragens através de linhas de vida ou trilhos, os acessórios pontuais também são possíveis (FIGURA 3.52).

Figura 3.52 - Ponto de ancoragem para proteção contra quedas em trabalhos em altura



Fonte: Autor.

3.13.3 Segurança contra o fogo

O substrato pode ser composto por uma parcela de material orgânico e outra de inorgânico. Os materiais inorgânicos usados como meio de cultivo geralmente não são combustíveis, porém se houver uma carga considerável de material orgânico este pode entrar em combustão. Solos com altas concentrações de materiais orgânicos podem afetar negativamente o sistema quanto a resistência ao fogo (ANSI/SPRI VF-1, 2017).

De acordo com Tolderlund (2010), é altamente recomendado que se observe as recomendações quanto às zonas livres de vegetação. Essas zonas ajudam na prevenção de incêndios, pois cria descontinuidade de vegetação e ainda proporciona acessibilidade para manutenção e ajuda a impedir que as raízes atinjam e danifiquem a membrana e paredes (FIGURA 3.53).

Figura 3.53 - Faixas separadoras, livres de vegetação



Fonte: NCDEQ (2017).

Em telhados de grandes extensões é recomendável a inclusão de áreas separadoras em seções que não excedam a 1.450 m² e não tendo nenhuma dimensão maior que 39 m, para reduzir o potencial de propagação do fogo (ANSI/SPRI VF-1, 2017).

As diretrizes da FM Global indicam a necessidade de fornecer áreas livres de vegetação adjacentes às paredes. Essas áreas são preenchidas com lastro de pedra e blocos de concreto (FM GLOBAL, 2011).

Uma das maneiras mais eficazes de evitar incêndios em telhados verdes é a irrigação e a remoção de vegetação seca que pode se tornar combustível. Além da retirada das folhas secas, o nível de umidade do substrato deve ser verificado com frequência. Ao remover a biomassa seca e manter a umidade do substrato o risco de propagação do incêndio é minimizado (ANSI/SPRI VF-1, 2017).

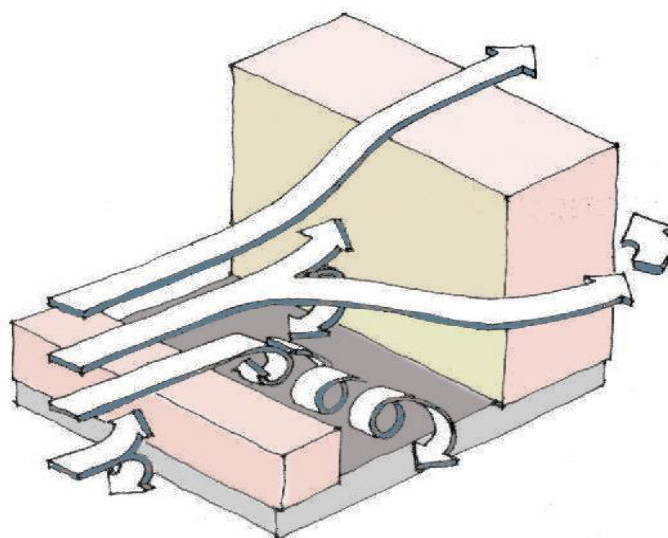
Em contraposição a essa ideia, existem autores que afirmam que os telhados verdes são por natureza menos susceptíveis ao fogo se comparado aos telhados comuns com revestimento betuminoso, que apresentam de 15 a 20 vezes maior probabilidade de incêndio, levantando assim, muita discussão e incerteza sobre o potencial risco que os TV's proporcionam (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; RAPOSO, 2013).

3.13.4 Segurança contra o vento

Vários testes de desempenho dos telhados verdes ao vento foram realizados. Estes apresentam estabilidade quando a vegetação está presente ou se utilizado um tapete contra erosão em áreas não vegetadas. O substrato exposto é o pior cenário, visto que fica sujeito à erosão do vento, assim sendo os tapetes contra erosão são utilizados para cobrir os locais expostos. As plantas ao cobrirem o substrato, o protege contra a erosão, pelo efeito “quebra vento” e pelo enraizamento. O manual NCDEQ (2017) recomenda que a cobertura vegetal deve ocupar pelo menos 75% da área superficial sobre o substrato para que se consiga mantê-lo no lugar. Quando grandes arbustos e árvores são utilizados, devem-se ter cuidados especiais para garantir ancoragem adequada e suporte estrutural (ANSI/SPRI RP-14, 2016).

Os cantos e os perímetros são as áreas mais afetadas pela ação do vento. O pior cenário é quando os ventos chegam em vértices com ângulo de 45° , o que gera vórtices de ventos ao longo das bordas, causando áreas de baixa pressão capazes de mover o lastro e promover até mesmo a sucção da membrana. A figura 3.54 mostra as ações mais significativas do vento quando se quebra nos anteparos do telhado. Essas zonas exigem maiores cuidados (OSMUNDSON, 1999). O uso de platibanda irá melhorar a resistência ao vento (ANSI/SPRI RP-14, 2016).

Figura 3.54 - Ação do vento em um edifício alto



Fonte: Adaptado de Osmundson (1999).

Ainda sobre esse texto, Tolderlund (2010) cita que a turbulência do vento nas bordas do telhado pode deslocar o substrato. Salienta ainda que, além do perímetro do telhado verde, é indicado também criar zonas livres de vegetação em torno de zonas de drenagem, áreas de escoamento e outras estruturas na cobertura, como drenos, dutos, tubulações, claraboias, painéis solares e outros equipamentos.

Sempre após um evento de vento o telhado verde deverá ser inspecionado para verificar possíveis arrancamentos, erosão eólica do substrato e obstruções do sistema de drenagem por folhas e galhos. O sistema se não recomposto estará cada vez mais susceptível aos danos em eventos de ventos posteriores, pois a perda da vegetação representa grande impacto no desempenho de retenção do vento (ANSI/SPRI RP-14, 2016).

ANSI/SPRI RP-14 (2016) recomenda que telhados verdes construídos em alturas superiores a 46 metros devem ser acompanhados por engenheiro de projetos de vento ou estudos de túnel de vento.

3.14 Aspectos de projeto utilizados como estratégia para inibir a ocorrência de anomalias em telhado verde

Voltando às concepções iniciais, percebe-se que a camada de impermeabilização se apresenta como a mais importante num sistema de cobertura com telhado verde. O seu desempenho adequado depende de sua correta especificação e execução. A deficiência executiva em alguns pontos específicos como as juntas de dilatação, muretas, platibandas, chaminés, soleiras e arremates são comumente responsáveis por parte das anomalias desse sistema (COELHO, 2014). Todos os arremates devem ser devidamente executados a fim de garantir resistência ao deslizamento, ao arranchamento e à fissuração (ALVES, 2013). Na tabela 3.6 apresentam-se alguns pontos específicos mais importantes e os cuidados que se devem adotar (ALVES, 2013; COELHO, 2014; RAPOSO, 2013).

Tabela 3.6 – Pontos específicos numa cobertura e critérios executivos

Ponto específico	Critério para execução
Arremate de impermeabilização em platibandas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevar a manta impermeabilizante em todo o perímetro e acima do substrato com no mínimo 30 cm em coberturas planas e 15 cm em coberturas inclinadas. ▪ Instalar camada de reforço com cerca de 30 cm de largura para aumento da resistência aos esforços mecânicos nos pontos de arremates. ▪ Arredondar ou chanfrar ângulos salientes. ▪ Embutir arremates ou proteger superiormente com rufos ou outros.
Arremate de impermeabilização em encontros verticais como muretas e chaminés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevar a manta impermeabilizante em todo o perímetro e acima do substrato com no mínimo 30 cm em coberturas planas e 15 cm em coberturas inclinadas. ▪ Instalar camada de reforço com cerca de 30 cm de largura para aumento da resistência aos esforços mecânicos nos pontos de arremates. ▪ Arredondar ou chanfrar ângulos salientes. ▪ Embutir arremates ou proteger superiormente com rufos ou outros.
Topo de platibandas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar chapins com pingadeiras. ▪ Cobrir o topo da platibanda com a membrana caso esta tenha pouca altura.
Arremate em tubos de queda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a perfeita aderência à superfície dos mesmos. ▪ Aplicar um selante flexível junto à base para permitir movimentações de dilatação e contração. ▪ Utilizar acessórios adequados para arremates.
Juntas de dilatação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminar tensões nas juntas devido aos movimentos da camada de suporte. ▪ Utilizar uma faixa não aderida com cerca de 15 cm de largura para cada lado sobre um elemento flexível de suporte.
Arremates em soleiras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrematar com desnível mínimo de 15 cm. ▪ Em casos de desnível inferior a 15 cm, prolongar um mínimo de 100 cm sob a soleira para o interior e 50 cm para cada um dos lados do vão. ▪ Garantir caída mínima de 2% no pavimento exterior, numa distância mínima de 200 cm.
Fixação de equipamentos como painéis solares e outros	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a estanqueidade da impermeabilização nestes pontos. ▪ Possibilitar a colocação de peças fixadas acima da camada de impermeabilização. ▪ Executar maciço de concreto para receber a fixação.

Fonte: Adaptado de Coelho (2014).

Critérios de projeto mais específicos para telhados verdes devem ser adotados. Serão apresentados a seguir um conjunto de informações para orientar as práticas de planejamento, soluções de projeto e execução com vistas ao desempenho e durabilidade.

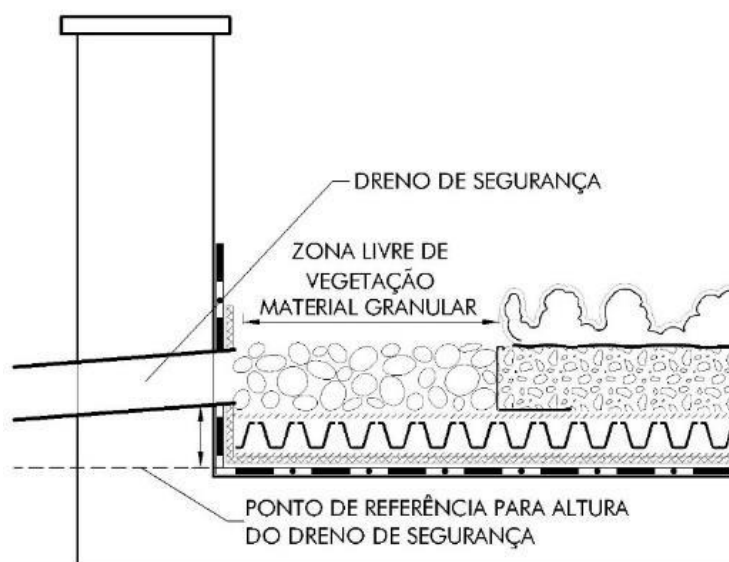
a) Segurança contra sobrecargas não consideradas

Alguns aspectos devem ser observados no sistema principal de drenagem, como por exemplo, os arremates da impermeabilização nos tubos de queda que necessitam de um rebaixo na camada de suporte de cerca de 10 cm e com diâmetro suficiente para acomodar o bocal e a grelha, evitando que fiquem salientes prejudicando a captação das águas. Deve-se também garantir um afastamento suficiente do tubo de queda aos elementos circundantes (muretas, platibandas, chaminés, equipamentos, etc), de modo que o bocal esteja livre para seja completamente arrematado pela manta de impermeabilização (COELHO, 2014).

Mas dada a possibilidade de bloqueio dos sistemas de drenagem por detritos, inclusive da própria vegetação do telhado verde, cuidados adicionais devem ser tomados para assegurar o perfeito escoamento do excesso das águas pluviais no telhado.

Para garantir que as cargas de água fiquem no limite estrutural em caso de obstrução interna dos drenos, um dispositivo adicional de drenagem deve ser instalado conforme mostra a figura 3.55. O dreno de segurança deve ser posicionado numa altura onde o limite de carga de água especificado no projeto não seja ultrapassado (TORONTO BUILDING, 2010).

Figura 3.55 - Detalhe de dreno de segurança



Fonte: Adaptado de Toronto Building (2010).

b) Proteção contra raízes e rizomas

Devido aos materiais utilizados para a impermeabilização estarem sob o substrato, entre ambos há a necessidade de execução de uma camada de proteção contra a ação penetrante das raízes. A proteção contra a penetração das raízes pode ser fornecida por meio de uma aplicação de um herbicida ou instalação de uma barreira física. As medidas de proteção contra a penetração das raízes não devem ser limitadas às áreas onde a vegetação foi plantada, mas sim em todo o entorno, garantindo máxima proteção, inclusive contra rizomas (FLL, 2018).

O telhado verde não deve avançar por sobre juntas de dilatação, para não o restringir, devendo estar sempre acessível em qualquer momento (FLL, 2018).

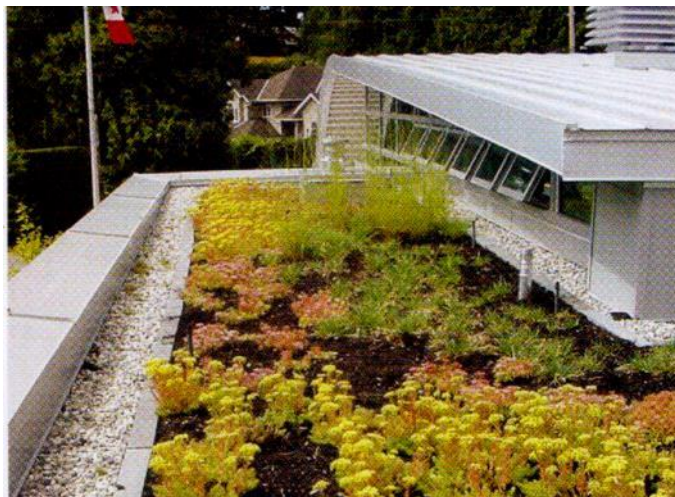
c) Proteção contra danos mecânicos

As camadas impermeabilizantes e de proteção contra raiz podem ser protegidas contra ação mecânica eventualmente gerada na construção do TV e na sua manutenção por acesso descuidado de operários e manuseio desastroso de ferramental para a manutenção. Essa proteção pode ser através de geomembranas, placas de proteção ou outro tipo de cobertura, dependendo do nível de incerteza a qual o telhado verde será exposto (FLL, 2018).

d) Artífício separador da vegetação e elementos estruturais verticais como paredes e fachadas

Uma faixa feita com material granular deve ser executada em todo perímetro de encontro com algum elemento estrutural vertical como paredes, platibandas e fachadas (FIGURA 3.56; FIGURA 3.57; FIGURA 3.58). Este elemento funciona distanciando a vegetação do componente estrutural vertical que deve também estar provido de camada anti-raiz e impermeabilização. Esta faixa separadora e distanciadora irá proporcionar proteção contra pressões negativas geradas pelo vento, umidade ascendente, infiltração, ação de rizomas agressivos e em casos de grande volume de vegetação, assume a função de agente corta-fogo (FLL, 2018).

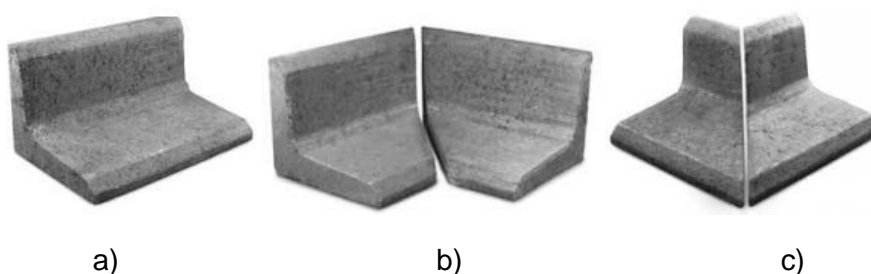
Figura 3.56 - Faixa de proteção de borda. Sechelt Justice Service Centre



Fonte: Earth Pledge (2005).

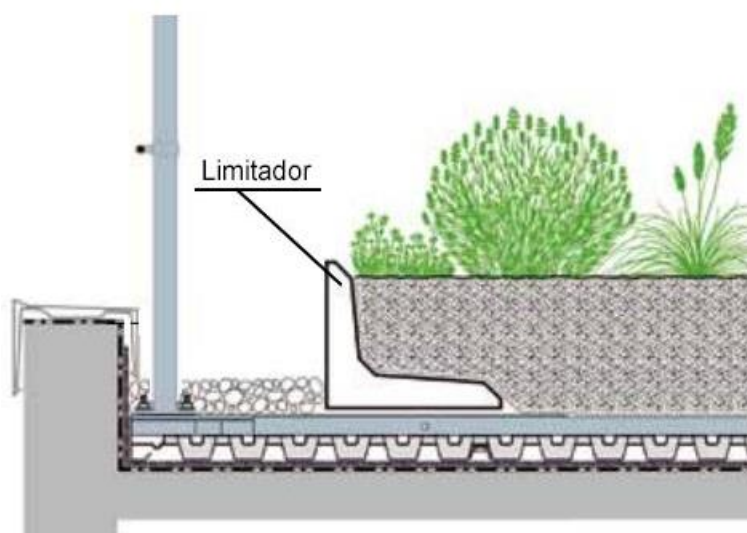
Figura 3.57 - Limitadores de substrato e material granular

a) linear; b) canto interno; c) canto externo.



Fonte: Zinco (2018a).

Figura 3.58 - Detalhe da aplicação do limitador/separador de substrato e material granular em telhados verdes



Fonte: Zinco (2018a).

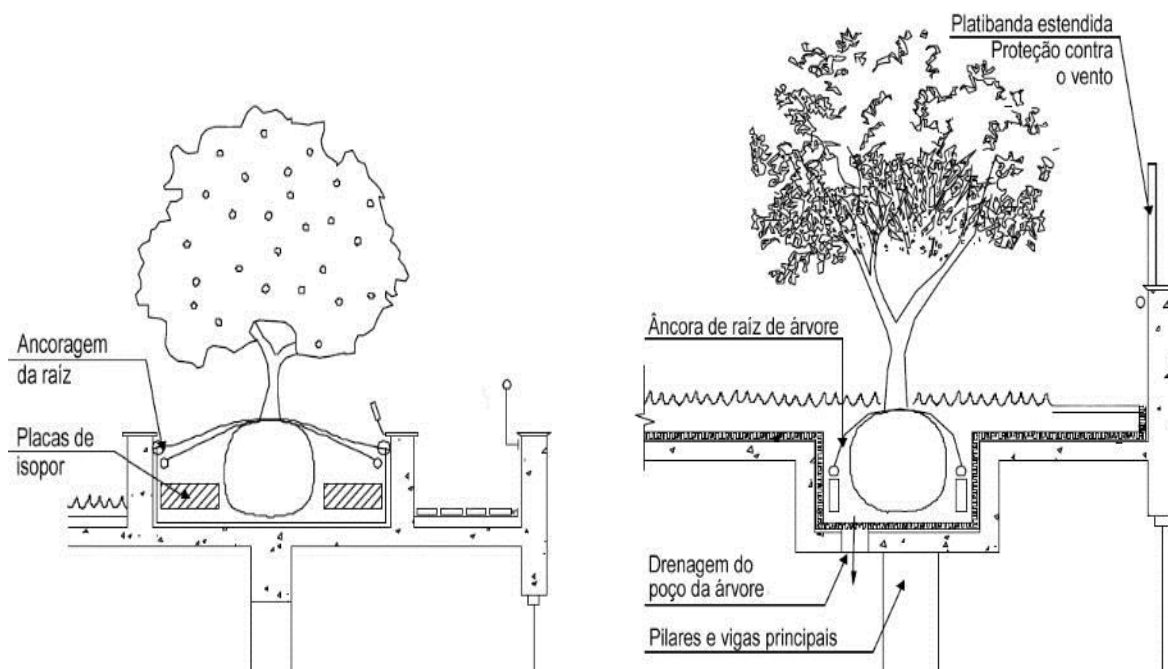
e) Segurança contra cargas de vento

O vento pode gerar forças positivas e negativas de pressão. Nas áreas onde há concentração de forças como cantos e bordas a carga de vento pode danificar qualquer coisa ali construída. A execução de faixas de material granular nestes pontos evita danos à vegetação (FLL, 2018).

Conforme especificado no Manual Introdutório para Telhados Verdes para Obras Públicas e Serviços do Governo do Canadá (2002), um sistema de ancoragem para árvores deve ser projetado a fim de evitar tombamento com a ação do vento.

Eventualmente uma projeção maior da platibanda pode ajudar neste quesito e a previsão de introdução de placas de isopor no substrato para fins de enchimento leve auxilia nas questões de excesso de peso (FIGURA 3.59; FIGURA 3.60).

Figura 3.59 - Ancoragem de árvore



Fonte: Oberlander; Whitelaw; Matsuzaki (2002).

Figura 3.60 - Sistema de ancoragem em árvores

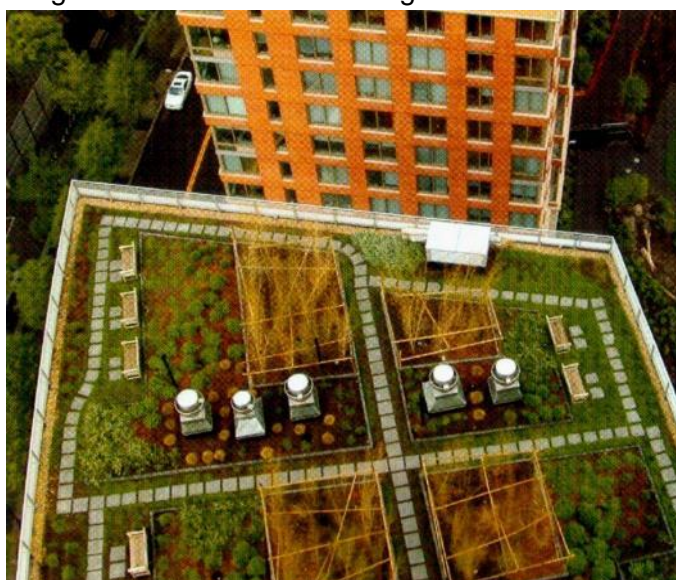


Fonte: Zinco (2019).

f) Prevenção de incêndio

É recomendável o afastamento da vegetação dos aparelhos e equipamentos instalados na cobertura. Além disso, faixas livres de vegetação devem ser previstas como separadoras, a fim de prover interrupções ao longo da área vegetada, conforme detalhado no item 4.3.3. A figura 3.61 mostra as faixas separadoras para inibir o alastramento do fogo em caso de incêndio, servindo também de passarelas para transito de pessoas para manutenção (ANSI/SPRI VF-1, 2017; NCDEQ, 2017; TOLDERLUND, 2010).

Figura 3.61 – Faixas corta fogo em telhado verde

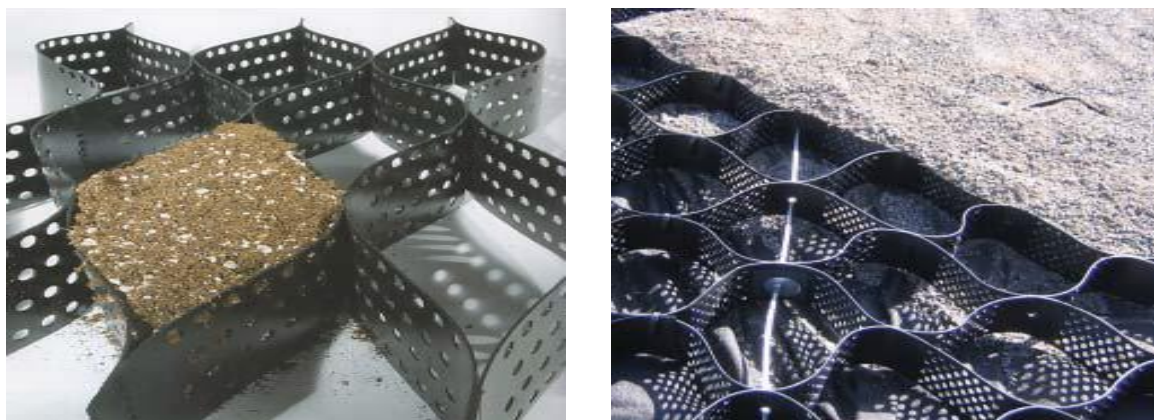


Fonte: Earth Pledge (2005).

g) Proteção contra deslizamentos e cisalhamento

Em telhados com inclinação menor que 20° geralmente não há necessidade de nenhum dispositivo contra o deslizamento e cisalhamento se as condições dos materiais subjacentes estiverem inalteradas. Porém, inclinações superiores a 20° exige proteção estrutural anti-cisalhamento (FLL, 2018), conforme mostra a figura 3.62 e figura 3.63.

Figura 3.62 – Elemento contra deslizamentos em telhados com inclinação superior a 20°



Fonte: Tolderlund (2010).

Esses elementos instalados por sobre a cobertura para receberem o substrato, permitem a instalação do telhado verde em telhados com inclinações de até 35° .

Figura 3.63 - Sistema para combater forças de cisalhamento em telhados verdes inclinados



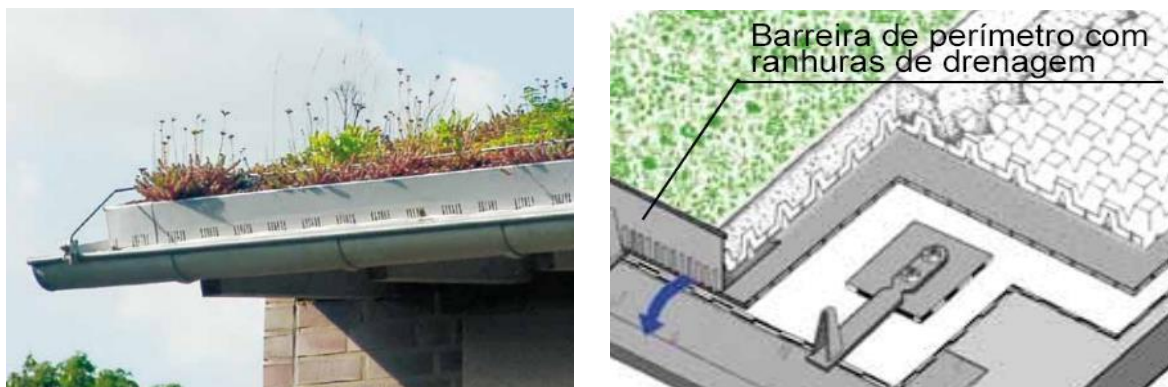
Fonte: Zinco (2018c).

h) Barreira de perímetro em telhado inclinado

Como a calha externa em telhados inclinados é o principal sistema de escoamento e drenagem, esta deve permanecer sempre desobstruída e protegida dos

sedimentos e intrusão de plantas. A instalação de uma barreira para o substrato no limite do telhado deve ser tal que permita o escoamento das águas das chuvas seja garantido sem carrear material para as calhas. A figura 3.64 mostra um exemplo de instalação de elementos de perímetro de telhado verde inclinado.

Figura 3.64 - Elemento para perímetro para telhado verde inclinado



Fonte: Zinco (2013).

i) Arremates nas paredes

O manual sueco de telhados verdes (VINNOVA, 2017) recomenda o uso de chapas de aço inox para acabamento e arremate da camada de impermeabilização do telhado verde nas paredes (FIGURA 3.65a). O manual instrui ainda que a manta deve ascender pelo menos 30 cm acima do canteiro terminado. Caso a platibanda tenha altura que possibilite que a camada de impermeabilização chegue ao seu topo, isso é desejável e nesse caso ela deve sobrepor o cume, conforme mostra a figura 3.65b. Acrescenta ainda que estes são detalhes considerados críticos e devem ser claramente especificados em projeto para evitar futuros problemas com infiltração.

É evidente que essa concepção pode ser adotada substituindo as chapas de aço inox por rufos, chapins e pingadeiras de chapas galvanizadas, que são comumente utilizadas no Brasil.

Figura 3.65 – Exemplos de utilização de chapas para arremates da manta impermeabilizante com as platibandas

a) Acabamento através de uma fresa na parede; b) Acabamento preferencial com a manta e chapas sobrepondo o topo das platibandas.



Fonte: Vinnova (2017).

j) Elenco de espécies de vegetação

Com relação a seleção das plantas, alguns aspectos importantes devem ser levados em conta para obter sucesso duradouro na implantação de um telhado verde. A vegetação deve ser adequada e escolhida com base no clima local e disponibilidade, tanto em quantidade, quanto em frequência de irrigação, de acordo com o padrão e volume de precipitações e as condições de exposição média ao sol. De acordo com (FLL, 2018), alguns fatores precisam ser levados em conta para garantir as condições consideradas adequadas para uma determinada vegetação de um telhado verde.

Fatores Climáticos que devem ser considerados:

- Clima regional
- Microclima local
- Padrão e volume de precipitação anual
- Exposição média ao sol
- Incidência de períodos de seca
- Incidência de períodos de geada, com ou sem cobertura de neve
- Direção predominante do vento

Fatores físicos, arquitetônicos e estruturais que devem ser considerados:

- Áreas expostas ao sol
- Áreas sombreadas
- Áreas onde a luz do sol e sombra se alternam
- Efeito das emissões de gases de combustão
- Condições de fluxo de vento
- Albedo das fachadas adjacentes
- Carga adicional de água a partir de elementos estruturais adjacentes
- Inclinação das superfícies do telhado

Fatores de atenção à vegetação que devem ser considerados:

- Resistência sob condições de verão e inverno
- Resistência para suportar ação do vento
- Resistência a intensidade da radiação solar e aos estoques de água
- Especificação de vegetal para os locais alternadamente húmidos ou permanentemente húmidos
- Especificação de vegetal para os locais em condições de permanente sombra ou insolação.

3.15 Gestão e manutenção de telhado verde

Este sistema exige maiores cuidados se comparado a uma cobertura tradicional, por ser composto de espécies vivas. Assim sendo, os custos de manutenção são mais elevados. Enquanto que em telhados convencionais as ações de manutenção se restringem principalmente a limpeza, nos telhados verdes, para que se mantenham em perfeitas condições, requer ainda irrigação, podas e nutrição. Indiferentemente das espécies de plantas é necessário que o sistema de telhado verde forneça água, drenagem, nutrientes e aeração para os sistemas radiculares das plantas (GRO, 2009).

Das ações de manutenção, a irrigação pode representar a mais onerosa, se o tipo de telhado verde for o intensivo. Embora a contribuição para a regulação da temperatura interna do ambiente construído seja significativa, em regiões climáticas quentes, é necessária a irrigação artificial para combater o ressecamento que resulta em morte das espécies vegetais. Em zonas climáticas tropicais e subtropicais o esforço para manutenção nos telhados verdes deve ser maior do que o exigido para climas temperados (CHEN, 2013).

Ainda no que concerne a gestão e manutenção dos telhados verdes, as ações de podas, capina, fertilização e replantação de plantas requerem atenção especial.

De acordo com a publicação do State of Victoria Through the Department of Environment and Primary Industries (2014), um plano de manutenção deve incluir descrições claras dos:

- Objetivos de manutenção, estabelecidos com base na intenção do projeto, sejam eles paisagísticos ou ambientais.
- Metas de desempenho, inclusive o período de tempo para se obter a cobertura de uma determinada área pela vegetação.
- Responsabilidades dos profissionais envolvidos na operação das manutenções, delineando o tipo, o escopo, a duração da tarefa e frequência.
- Requisitos de treinamento de pessoal para uso de equipamentos de segurança
- Recursos disponíveis para alcance das metas e desenvolvimento das tarefas

A tabela 3.7 lista algumas atividades típicas de manutenção para telhados verdes.

Esta destina-se apenas como um guia geral, pois cada TV terá seus próprios requisitos específicos.

Tabela 3.7 - Tarefas comuns de manutenção em telhados verdes

Objetivo da manutenção	Tarefa relacionada
Manter o projeto do telhado verde, possibilitando o crescimento das plantas	Substituição de plantas debilitadas Remoção de resíduos de materiais vegetais como folhas, podas e ervas daninhas Verificação de pragas ou doença e tratamento conforme necessário Ajustes sazonais no volume e frequência de irrigação Garantir níveis adequados de nutrição para as plantas Inspeccionar o TV depois de graves eventos climáticos como por exemplo, vento, calor, chuvas
Minimizar infestação de plantas intrusas	Controlar ervas daninhas
Gerenciar gramados	Poda regular Renovação frequente
Gerenciar árvores	Poda regular Inspeção anual Ancorar quando necessário
Monitorar o desempenho das plantas	Manter registros de saúde e vigor planta e impactos de pragas e doenças
Gerenciar substrato	Completar substrato quando necessário, devido a ação do vento, chuva e atividade de animais (verificar a profundidade do substrato projetado antes de realizar as adições para assegurar que cargas não sejam excedidas)
Gerenciar sistemas de irrigação	Testar e inspeccionar regularmente o sistema de irrigação (verificar o volume de irrigação fornecido, a sua frequência, o teor de humidade do substrato)
Monitorar a nutrição das plantas	Manter um registro das adições e valores de pH antes e depois da adição de fertilizantes
Monitorar a drenagem	Certifique-se de que os drenos do telhado estejam limpos e funcionando, removendo a sujeira, o lixo e outros detritos
Manter zonas sem vegetação	Remova a vegetação invasiva das zonas de perímetro e em torno de outros equipamentos e acessórios
Monitorar a proteção contra a ação do vento	Verificar a condição e o ajustar os sistemas de proteção caso necessário
Manutenção de sistemas de segurança	Verificar os pontos de ancoragem de segurança para trabalho em altura Verifique a segurança elétrica dos pontos de iluminação e sistema de irrigação
Monitorar a impermeabilização	Inspeccionar os rufos e membrana de impermeabilização sobre as terminações Verificar danos causados por água, fertilizantes ou plantas Detectar vazamentos na impermeabilização

Fonte: Adaptado de IMAP (2014).

Ainda, de acordo com a publicação do State of Victoria Through the Department of Environment and Primary Industries (2014), as ações de manutenção se enquadram em várias categorias, descritas a seguir:

a) manutenção de estabelecimento

Ocorre durante os primeiros dois anos após a instalação e é realizado para alcançar plenamente a intenção e os parâmetros do projeto. Para a vegetação, essa categoria inclui tarefas como poda, controle de ervas daninhas e irrigação para garantir a saúde, crescimento e vigor das plantas.

b) manutenção de rotina

Inclui intervenções que são realizadas para manter o telhado verde a um padrão mínimo exigido de aparência, funcionalidade e segurança. Para a vegetação, isso pode incluir tarefas como remoção de ervas daninhas e serapilheira, poda e em alguns casos, aparo de grama.

c) manutenção cíclica

É uma intervenção programada em intervalos menos frequentes para manter intacta a infraestrutura. Inclui a manutenção dos sistemas subjacentes como a estrutura da edificação e de componentes específicos do telhado verde. Isso pode incluir poda da vegetação lenhosa.

d) manutenção reativa e preventiva

É realizada quando algum componente do sistema apresenta falha ou mostra sinais de falha iminente, como por exemplo, danos resultantes de um evento climático.

e) manutenção de renovação

Inclui trabalhos que mudam a intenção do projeto. Isto pode acontecer, por exemplo, após uma mudança de propriedade de um edifício que instiga o desejo de mudar.

As ações de manutenção do telhado verde quando realizadas por técnicos desavisados pode levar a danos e degradação prematura dos seus constituintes. Raposo (2013) diz que os técnicos de manutenção nem sempre têm as informações suficientes do sistema onde irão intervir, o que pode dar origem a anomalias ao utilizarem ferramentas inapropriadas e manuseá-las inadequadamente. Morgado (2012) acrescenta que o uso indevido pelos ocupantes, por desconhecimento ou negligência, também poderá levar à degradação prematura nos diversos elementos

que compõem o sistema. A tabela 3.8 mostra as ações de manutenção necessárias a um telhado verde na cidade de Hong Kong.

Tabela 3.8 - Procedimentos de manutenção para telhado verde situado em Hong Kong

Procedimento de manutenção	TV Intensivo	TV Extensivo	Observações
Inspeção da impermeabilização	1x / ano	1x / ano	Verificação de infiltração na edificação
Inspeção da drenagem	1x / mês	1x / bimestre	Verificação das saídas de drenagem
Remoção de lixo	1x / semana	Quando necessário	Depende em grande parte do tipo de telhado verde, do número de visitantes e de ocasionais detritos que podem cair no telhado.
Inspeção da saúde vegetal	1x / bimestre	2x / ano	Inclui verificação de infestações de insetos e fungos
Plantio de substituição	Quando necessário	Quando necessário	Por morte ou baixo vigor das plantas
Irrigação	780 l / m ² / ano	De baixo a nenhum	Baseado em 25 l por semana em períodos de estiagem e 15 l em períodos de precipitações
Podas	2x / ano	N/A	
Aparo de relvas	9x / ano	N/A	Depende grande parte do projeto e das espécies usadas
Corte de grama	De 0x a 3x / ano	De 0x a 3x / ano	As gramíneas requerem menos aparos que as relvas
Adubação	De 1x a 2x / ano	A cada 4 ou 5 anos	A frequência pode ser aumentada para práticas de horticultura
Controle de pragas e doenças	1x / trimestre	1x / trimestre	Inclui inspeções
Remoção de ervas daninhas	9x / ano	De 0x a 3x / ano	Pode ser quase nenhuma para TV extensivo, se instalado corretamente

Fonte: Adaptado de Urbis Limited (2007).

Ainda, no que concerne as ações de manutenção em telhados verdes, o (FLL, 2018) relaciona como sendo necessárias a irrigação e a conservação desse sistema, a poda, a remoção de massa morta e detritos, limpeza do sistema de drenagem pluvial, remoção de vegetação infestante, controle do alastramento da vegetação em áreas de afastamento sem substrato como perímetros, encontro com paredes, ralos e faixas separadoras, fertilização, controle e pragas e doenças, recomposição, escurificação e arejamento do substrato, semeadura ou replantação de preenchimento em manchas nuas, recomposição de camada de casca de árvore ou outro material orgânico sobre o substrato para proteção contra erosão, conservação do sistema anti-deslizamento em coberturas inclinadas, conservação dos sistemas de ancoragens de arbustos e árvores.

3.15.1 Controle do sistema de impermeabilização

Para a garantia de durabilidade de um telhado verde, a camada de impermeabilização, que é a mais importante do sistema, deve receber cuidados especiais desde a sua fase de implantação, necessitando de um conjunto de procedimentos específicos que vão em função do tipo de telhado verde e vegetação escolhida (GATTO, 2012). O autor ainda alerta sobre a resistência que o material de impermeabilização deverá apresentar quanto à agressividade de fertilizantes e outros produtos quando da adubação durante toda a vida útil do telhado verde.

A inspeção visual é importante para verificar a ocorrência de vazamentos na impermeabilização. Minke (2004) explica que após um evento de chuva forte ou prolongada é fácil a constatação de problemas de infiltração num telhado verde. Tolderlund (2010) ensina que a inspeção para verificação da integridade do sistema de impermeabilização deve ocorrer três vezes ao ano e Morgado (2012) afirma que uma profunda investigação nesse sistema deve ocorrer a cada 5 anos.

3.15.2 Controle do sistema de drenagem e camada drenante

Tanto a falta quanto o excesso de água são prejudiciais às plantas e, portanto, a camada drenante é responsável para regular a quantidade de água no substrato ao drenar seu excesso permitindo seu escoamento e retendo uma parcela de reserva de umidade necessária à saúde da vegetação (SILVA, 2012).

As plantas são sensíveis à drenagem insuficiente do substrato. Nesse sentido, se o sistema de drenagem não conseguir drenar a água excedente, as plantas irão morrer por asfixia radicular (TOLDERLUND, 2010).

O NCDEQ (2017) recomenda inspeções com frequência de seis meses para os sistemas de drenagem, porém, a cada evento de chuva ou vento deve-se inspecionar e realizar a remoção imediata de materiais estranhos, folhas, galhos e lixos. É importante que sejam previstos pelo menos um tubo de queda e um tubo

ladrão e que estes sejam adequadamente dimensionados, devendo estar protegidos e em local de fácil inspeção (FLL, 2018).

A figura 3.66 mostra um telhado verde com retenção de água, o que provoca a morte da vegetação por asfixia radicular, infiltrações de umidade para o interior da edificação e em casos extremos, o colapso da estrutura.

Figura 3.66 – Telhado verde com problemas de encharcamento e sobre carga



Fonte: Palha et al. (2012) apud Prates (2012).

Para garantia de um bom funcionamento da drenagem, mesmo com a ocorrência de chuvas intensas, devem ser construídos caixas drenantes com material granular de forma a evitar a ocorrência de lâminas d'água com o carreamento do substrato, morte das plantas por asfixia radicular e o aumento de sobrecarga na cobertura (COELHO, 2014).

O sistema de drenagem deve ser inspecionado sempre após eventos de chuvas e ventos e sua limpeza deve estar prevista, de acordo com Tolderlund (2010), três vezes ao ano. Já Morgado (2012), afirma que duas vezes ao ano já é o suficiente. As diretrizes alemãs de telhado verde (FLL, 2018) não determina prazo definido, cita apenas que esta ação de manutenção preventiva deve ocorrer regularmente. O guia de telhado verde do Reino Unido explica que deve ser realizada uma única vez ao ano (GRO, 2014).

3.15.3 Poda

As manutenções nas plantas devem acontecer de duas a três vezes por ano para verificar se há danos, efetuar podas, replantio e retirada de ervas daninhas. Nos sistemas intensivos normalmente exigem mais manutenção se comparado aos sistemas extensivos, obviamente por adotarem maior diversidade de plantas, inclusive com espécies mais lenhosas (KUHN; PECK, 2000). Além de garantir estética para o telhado verde, as podas reduzem o risco de incêndios (NCDEQ, 2017).

O NCDEQ (2017) explica que as inspeções para identificar a necessidade de capinas para retirada de ervas daninhas devem ter uma frequência mensal até que a vegetação do telhado verde se estabeleça completamente com densidade e resistência suficientes para a inibição da vegetação intrusa.

Para se evitar a propagação alta de ervas daninhas, Nagase, Dunnett e Choi (2013) sugerem procurar impedir a incidência direta de luz no substrato, utilizando plantas de porte maior para promover sombras, bem como utilizar diversas variedades de espécies vegetais e que tenham rápido desenvolvimento com boa cobertura do solo

A norma padronizadora ANSI/SPRI VF-1 (2017) recomenda que o excesso de biomassa morta e em decomposição (folhas, galhos e outros materiais) deve ser removido com frequência mínima de duas vezes por ano, já a FLL (FLL, 2018) simplesmente cita que o corte, a poda e o aparo são necessários regularmente.

3.15.4 Irrigação

O ambiente das coberturas verdes pode ser extremamente hostil, com amplas diferenças de temperaturas e condições de secas prolongadas, assim sendo, um sistema de irrigação, seja ele por aspersão, gota a gota, manual ou capilar enterrado é necessário e deve ser escolhido de acordo com as necessidades ambientais e características da vegetação (COELHO, 2014). ANSI/SPRI VR-1 (2018) recomenda que as plantas devem ser regadas conforme a necessidade e

baseadas nas condições ambientais locais para um perfeito crescimento e manutenção, mas deve garantir a secagem entre as aplicações. A rega pode ser feita manualmente/mecanicamente (FIGURA 3.67) ou por um sistema automatizado (FIGURA 3.68). Tolderlund (2010) acrescenta que para um sistema de irrigação mais eficiente e adequado às necessidades da vegetação, um equipamento de monitoramento de irrigação, como por exemplo, os temporizadores, os fluxômetros e os sensores devem ser instalados.

Figura 3.67 - Sistema de rega manual



Fonte: Autor.

Figura 3.68 – Sistema de irrigação automatizado

a) aspersor; b) sensor.



a)



b)

Fonte: Autor.

Ainda sobre o texto, a norma ANSI/SPRI RP-14 diz que as operações de rega e adubação são importantes para manter e promover o crescimento da vegetação (ANSI/SPRI RP-14, 2016). Segundo Kuhn e Peck (2000) as ações de irrigação devem ocorrer semanalmente, tanto nos sistemas intensivos, quanto nos

extensivos. Chen (2013) afirma que em regiões climáticas quentes há necessidade de maior manutenção para manter a disponibilidade de água necessária às plantas, equilibrando o grande potencial de perda por evaporação e transpiração. Assim sendo, o empenho nas regas é maior em zonas de clima tropical e subtropical do que o exigido em zonas de clima temperado.

Por outro lado, o estudo de aplicação de telado verde em Hong Kong (URBIS LIMITED, 2007) alerta sobre o excesso de rega e de fertilização, esse tipo de abordagem com oferta generosa de irrigação e nutrientes pode alterar o ambiente, tornando-o propenso às ervas daninhas e exagero no crescimento das plantas especificadas em projeto. As diretrizes FLL (2018) cita que a irrigação deve ser realizada regularmente.

3.15.5 Fertilização

A fertilização deve ser utilizada para incentivar o crescimento e manutenção das plantas (ANSI/SPRI VR-1, 2018), porém as quantidades de fertilizantes devem ser baixas para evitar lixiviação dos nutrientes (NCDEQ, 2017). O excesso de fertilizantes também pode desencadear uma alta taxa de proliferação de plantas daninhas e por outro lado, baixa concentração, impede o devido crescimento de certas espécies vegetais plantadas, devendo haver equilíbrio na adubação Berndtsson *et al.* (2007). Tolderlund (2010) explica que geralmente a fertilização em um telhado verde se dá uma vez ao ano, já as diretrizes FLL (2018) ressalta a importância de a adubação ocorrer com frequência de três meses no primeiro ano de vida do telhado verde e de seis meses no decorrer de sua vida.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho envolveu diversas etapas, englobando pesquisa bibliográfica relativa ao tema no Brasil e no exterior sobre a tecnologia, funcionalidade, vantagens e desvantagens, construção, requisitos de projeto e desempenho, ações de gestão e manutenção, bem como sobre o possível surgimento de manifestações patológicas nos telhados verdes e na edificação na qual esteja implantado. Nesta etapa buscou-se explorar fontes primárias e secundárias.

Outra etapa metodológica consistiu na realização de pesquisa de campo, através de vistoria em edificações com aplicação da tecnologia de telhados verdes na região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, procedendo-se com uma série de investigações *in loco* para averiguação e constatação da existência de possíveis anomalias relatadas na revisão bibliográfica, de adoção ou não das técnicas recomendadas e das rotinas de gestão e manutenção. Assim, foram observados os detalhes construtivos projetados e construídos com o fim de inibir a ocorrência de anomalias, inclusive a identificação de manifestações patológicas instaladas, apontando suas possíveis causas.

Para esta pesquisa de campo, baseada na pesquisa bibliográfica realizada, foram elaboradas duas fichas para orientar as inspeções a fim de facilitar a pesquisa exploratória e obtendo-se uma sequência lógica e padronizada. Uma ficha consiste em caracterizar o telhado verde e coletar as informações sobre os planos de manutenção e gestão - atividades e periodicidades (Figura 4.1 - Ficha 1: Caracterização do telhado verde), a segunda ficha, consiste em identificar as anomalias existentes, bem como o não cumprimento de detalhes construtivos recomendados pelas publicações técnicas (Figura 4.2 - Ficha 2: Inspeção da edificação com telhado verde).

Figura 4.1 - Ficha 1: Caracterização do telhado verde

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO):			
CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO			
TIPO	<input type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°
CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE			
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input type="checkbox"/> COBERTURA
	<input type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉRMINO CONSTRUÇÃO:		
IDADE	ANOS	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL
OBSERVAÇÕES			
REGISTRO FOTOGRÁFICO			
Fotografia 1		Fotografia 2	

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

Fonte: Autor

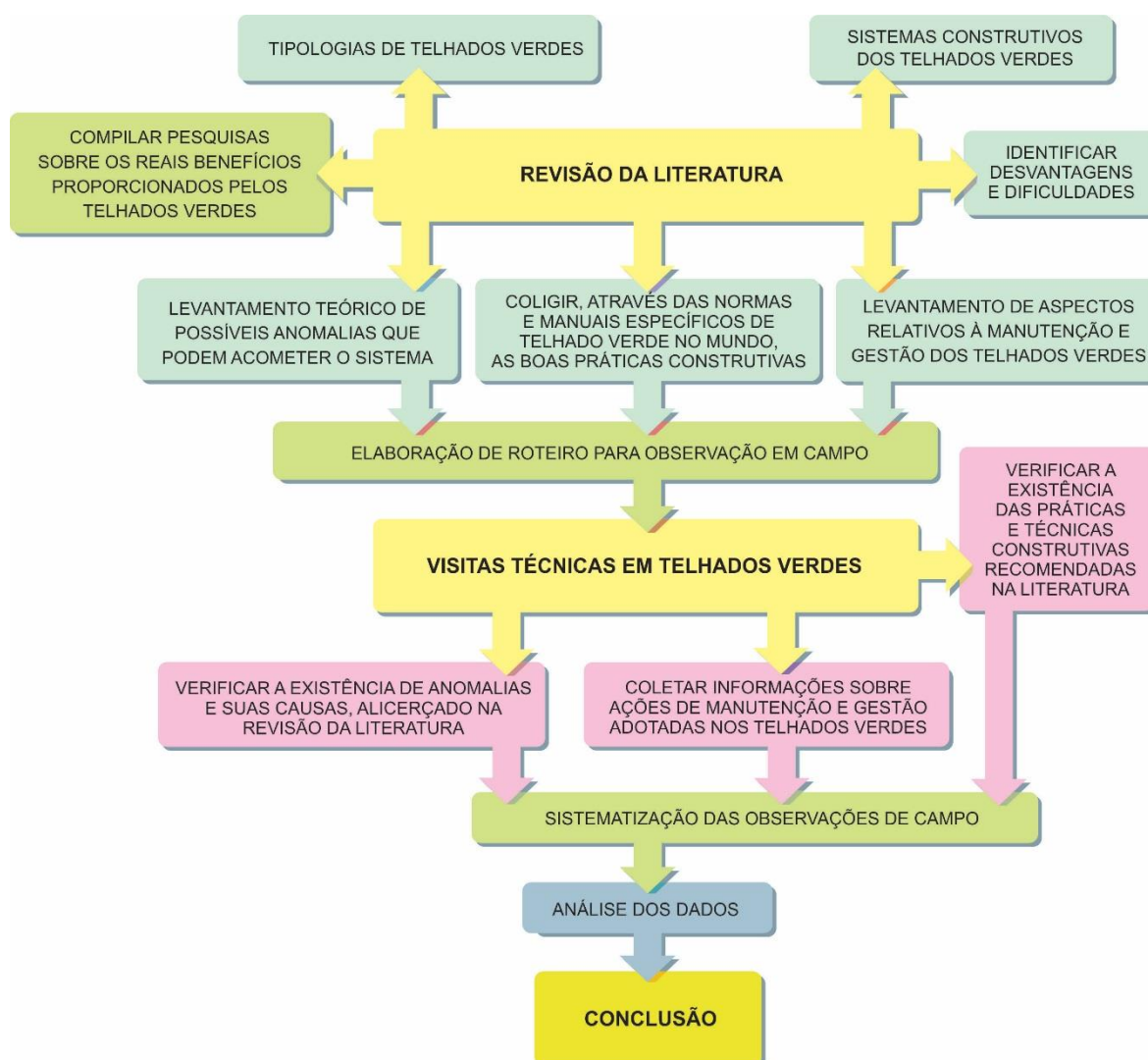
Figura 4.2 - Ficha 2: Inspeção da edificação com telhado verde

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO):				
DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:				
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS				
NA DATA DA INSPEÇÃO	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
TELHADO VERDE				
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input type="checkbox"/> COBERTURA	
CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS				
IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS				
IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Fonte: Autor.

Assim sendo, o estudo baseia-se em dois principais aspectos, o levantamento do estado da arte dos telhados verdes relativamente às tipologias, sistemas construtivos, benefícios, vantagens e dificuldades, gestão e manutenção, e de possíveis manifestações patológicas nestes sistemas, seguido de observações realizadas em edificações com emprego desta tecnologia. A Figura 4.3 mostra o fluxograma das atividades da pesquisa realizada.

Figura 4.3 - Fluxograma das atividades da pesquisa realizada



Fonte: Autor.

4.1 Definição da amostra de edificações inspecionadas

A pesquisa exploratória consistiu em aferir através de constatação *in loco* as possíveis manifestações patológicas presentes nos telhados verdes e nas edificações nas quais eles estão inseridos, baseando-se no levantamento teórico realizado na área da patologia das construções. Foi feito contato com a Gerência de Licenciamento de Comércio e Prestação de Serviço (GELCP) da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Belo Horizonte (SSMA-PBH), e foi fornecida uma relação de vinte e quatro (24) edificações na cidade de Belo Horizonte que apresentam telhados verdes implantados e licenciados.

De posse da população de vinte e quatro edificações com telhados verdes instalados e licenciados em Belo Horizonte, procedeu-se com as visitas técnicas, sendo, porém, possível inspecionar somente nove edificações. Isso se deveu à ocorrência de dificuldades de autorização para acesso a diversas edificações. Como a maioria delas era propriedade particular, nem todos os proprietários ou gestores dos empreendimentos concederam permissão para os procedimentos de visita e inspeção. Em decorrência disso, o número de unidades visitadas não permitiu o tratamento estatístico desejado. Entretanto, o objetivo principal do trabalho foi atingido, visto que as visitas técnicas nos telhados verdes com permissão de acesso foram abrangentes, inclusive com levantamentos de informações quanto as ações de gestão e manutenção de seus gestores.

4.2 Inspeções em edificações com telhado verde

A pesquisa exploratória é parte da metodologia aplicada a este trabalho. O objetivo desta etapa foi aferir através de constatação *in loco* as possíveis anomalias presentes nas edificações e que são alusivas ao telhado verde baseando-se no levantamento teórico pesquisado na área das patologias das construções onde elencamos as possíveis manifestações patológicas que podem acometer o sistema e a edificação. Para dar seguimento a esta fase da pesquisa, foi adotada uma

seleção de empreendimentos com telhado verde na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

As edificações com telhado verde inspecionadas, localizam-se na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, sendo edificações de uso comercial. A tipologia de telhado verde instalado nestas edificações e as datas das inspeções realizadas são mostradas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Características dos telhados verdes inspecionados

Identificação	Tipo de TV	Data da Inspeção
1	Semi-intensivo	01 de outubro de 2018
2	Intensivo	19 de fevereiro de 2019
3	Semi-intensivo	19 de fevereiro de 2019
4	Semi-intensivo	09 de abril de 2019
5	Extensivo	27 de junho de 2019
6	Intensivo	27 de junho de 2019
7	Intensivo	02 de julho de 2019
8	Intensivo	11 de julho de 2019
9	Semi-intensivo	20 de agosto de 2019

Fonte: Autor.

Por ocasião das inspeções realizadas foram feitos registros fotográficos e preenchimento das fichas de caracterização do telhado verde e de inspeção da edificação com telhado verde e constam do Apêndice A e B.

Por fim, foi elaborada uma proposta de escopo de projeto detalhado de um sistema de telhado verde para sua implantação com a indicação de cada agente envolvido no processo desde a concepção até o uso e manutenção durante sua vida útil.

5 RESULTADOS

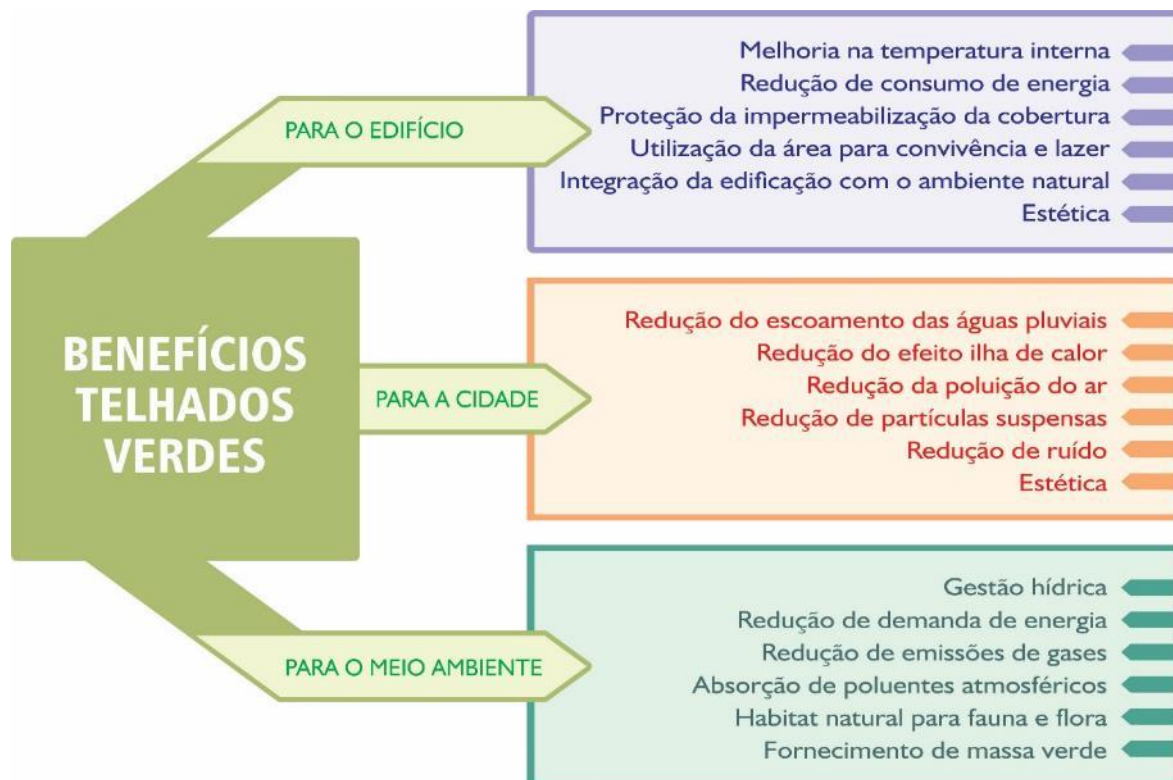
O presente capítulo apresenta os resultados da pesquisa e sua discussão, envolvendo os dados levantados na literatura técnica, as informações das amostras durante a fase de pesquisa de campo, onde foram investigadas as ocorrências de anomalias em nove (9) edificações dotadas de telhado verde na região de Belo Horizonte, MG, Brasil.

De uma forma geral, os telhados verdes são subdivididos em três categorias: intensivo, semi-intensivo e extensivo. Cada qual, com suas especificidades, alcança um determinado objetivo em função das espécies vegetais adotadas, o que está diretamente ligado à espessura do substrato.

No que se diz respeito às vantagens de se construir um telhado verde, a comunidade científica é concordante. Um telhado verde pode contribuir tanto com questões ambientais como humanitárias, já que um de seus principais objetivos é buscar o equilíbrio ecológico e ambiental nas grandes concentrações urbanas, trazendo conforto para os seus habitantes.

Dentre os benefícios ambientais de um telhado verde, pode-se citar: a redução da temperatura no interior da edificação, minimização do efeito da ilha de calor nos centros urbanos, possível atenuação de ruído e do escoamento das águas pluviais, melhoria na qualidade do ar, mitigação das drásticas mudanças do ambiente natural para o construído e ainda proporciona bem-estar, beleza estética, área de convivência e lazer e acomodar espécies da fauna e flora. A FIGURA 5.1 apresenta um resumo dos benefícios que os telhados verdes podem proporcionar tanto para a edificação, quanto para o meio ambiente.

Figura 5.1 – Benefícios do telhado verde para o edifício, para a cidade e para o meio ambiente



Fonte: Autor.

Com relação ao benefício de equilíbrio térmico no interior de uma edificação com telhado verde, algumas pesquisas evidenciam o fenômeno, como pode ser observado no elenco apresentado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Tabela - Estudos relativos à redução de temperatura na edificação com telhado verde

Estudo	Aspecto do estudo	Autor	Conclusão
Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas - vegetação e terraço	Desempenho térmico	Pouey (1998).	Redução na amplitude de variação térmica no ambiente com telhado verde se comparado à cobertura tradicional
Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings	Proteção térmica do edifício	Kumar e Kaushik (2005).	Redução da temperatura média do ar interno em 5,1° C
Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate	Desempenho térmico	Hien, Yok e Yu (2007).	Redução de 60% de calor através de telhado verde extensivo

Green Roofs in Buildings: Thermal and Environmental Behaviour	Comportamento térmico e ambiental	Theodosiou (2009).	Telhado verde exerce papel semelhante a um isolamento térmico tradicional.
Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs	Balanço energético	Feng, Meng e Zhang (2010).	De todo calor dissipado per um telhado verde extensivo, apenas 1,2% foi armazenado pelas plantas e solo ou transferido para o interior da edificação.
Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil	Desempenho térmico	Parizotto e Lamberts (2011).	Telhado verde reduziu ganho de calor em 92-97% em comparação com telhado metálico
Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs	Desempenho térmico e energético	Tsang e Jim (2011).	Telhado nu apresentou armazenamento de calor 75% maior do que telhado verde
O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica	Comportamento térmico	Ferraz (2012).	Comprovação da eficiência do telhado verde para promover isolamento térmico da edificação.
Popularização da cobertura verde	Desempenho térmico	Morgado e Martins (2013).	Telhado verde proporciona no verão um ambiente interno mais fresco e no inverno, mais ameno.
Retrofitting Housing with Lightweight Green Roof Technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil	Desempenho térmico	Feitosa e Wilkinson (2015).	A utilização do telhado verde reduziu substancialmente a temperatura interna em protótipos instalados no Rio de Janeiro, Brasil e em Sidney na Austrália.
Avaliação experimental do comportamento térmico de coberturas verdes semi-intensivas na estação de arrefecimento	Comportamento térmico	Meneses (2015).	O substrato tem uma contribuição essencial na redução dos fluxos de calor que atravessam a cobertura verde.
Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis	Comportamento térmico	Liz (2016).	Telhados verdes contribuem para melhorar o desempenho térmico da cobertura.
Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro	Desempenho térmico	Santos <i>et al.</i> , (2017).	Atenuação da temperatura interna do protótipo com a implantação do telhado verde extensivo.

Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com <i>Callisia repens</i>	Desempenho térmico e hídrico	Carvalho (2018).	Diferença de até 23°C entre o protótipo com telhado verde e o protótipo referência.
---	------------------------------	------------------	---

Fonte: Autor.

Voltando às concepções iniciais, é notável o conforto térmico proporcionado por um telhado verde, considerando-se a edificação na qual ele está implantado.

Já, com relação ao microclima circundante, as pesquisas indicam a capacidade de telhados verdes em reduzir o efeito da ilha de calor pelo efeito da evapotranspiração e pela promoção de sombras, mas em complemento, há de se considerar outros aspectos não menos relevantes, como a utilização de materiais de alto albedo em fachadas e pavimentos. Porém, é importante salientar que uma investigação mais aprofundada se faz necessária para uma demonstração mais avançada e em grande escala sobre o fenômeno (LIU; BASKARAN, 2003; RAZZAGHMANESH; BEECHAMA; SALEMI, 2016; SANTAMOURIS, 2014).

No que se diz respeito a retenção de águas pluviais, os telhados verdes apresentam resultados distintos quando a intensidade das chuvas é moderada e quando é mais intensa. Carpenter *et al.* (2016); Carter e Rasmussen (2007); Chen (2013); Mentens, Raes e Hermy (2006); Stovin, Vesuviano e Kasmin (2012) e Villarreal e Bengtsson (2005), evidenciam a diminuição da retenção de água do telhado verde à medida que a intensidade ou duração da precipitação aumenta.

Contudo, no geral, os telhados verdes apresentam capacidade de reduzir o escoamento pluvial, aliviando os sistemas de drenagem no pico do evento.

A tabela 5.2 apresenta as pesquisas selecionadas para análise.

Tabela 5.2 - Estudos relativos à retenção e qualidade de águas pluviais escoadas e retidas no telhado verde

Estudo	Aspecto do estudo	Autor	Conclusão
Runoff Water Quantity and Quality from Green Roof Systems	Escoamento e qualidade da água escoada	Monterusso <i>et al.</i> (2004).	Qualidade da água de escoamento varia de acordo com o tipo de vegetação.
Response of a Sedum green-roof to individual rain events	Retenção de águas pluviais em diferentes inclinações de telhados.	Villarreal e Bengtsson (2005).	A retenção diminui à medida que a inclinação aumenta e a retenção é maior para eventos de baixa intensidade.
Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?	Análise de medidas relatadas em 18 publicações sobre o tema.	Mentens, Raes e Hermy (2006).	Telhados verdes pode ser uma ferramenta útil para reduzir o escoamento da chuva urbana.
Hydrologic behavior of vegetated roofs	Comparativo sobre escoamento entre um telhado verde e um telhado tradicional	Carter e Rasmussen (2007).	O escoamento do telhado verde foi atrasado em média de 17,9 minutos comparado com o telhado tradicional.
Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments	Escoamento e retenção das águas pluviais	Dunnett <i>et al.</i> (2008).	Maior retenção de água com plantas maiores e raízes mais densas.
Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality	Experimento com telhado verde para retenção e qualidade das águas escoadas	Gregoire e Clausen (2011).	O telhado verde foi eficaz na redução do escoamento de águas pluviais.
The hydrological performance of a green roof test bed under UK climate conditions	Experimento com telhado verde no Reino Unido por 29 meses seguidos	Stovin, Vesuviano e Kasmin (2012).	A porcentagem máxima de retenção do telhado verde diminui à medida que o volume da tempestade aumenta
Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review	Revisão sobre o desempenho dos telhados verdes	Chen (2013).	A capacidade de retenção e detenção do telhado verde diminui com precipitações mais intensas.

Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations	Monitoramento de um telhado verde por 12 meses para obtenção de dados relativos à quantidade e qualidade do escoamento.	Carpenter, Todorov, <i>et al.</i> (2016).	Telhado verde é eficaz na retenção de águas pluviais, porém a quantidade de água retida diminui com o aumento do evento de chuva.
---	---	---	---

Fonte: Autor.

Pode-se observar que com chuva intensa diminui-se a eficiência de retenção de águas no telhado verde, assim sendo, sua habilidade na contribuição do controle de águas pluviais nas cidades é pequena. Ademais, a erosão no substrato é outro problema com chuvas intensas. As águas do escoamento do telhado verde contêm mais compostos orgânicos e sedimentos do que o escoamento de coberturas tradicionais. Estas concentrações de poluente, caso não haja manutenção adequada, tornam-se uma preocupação ao gerar um escoamento poluído ao invés de melhorar a qualidade da água (CHEN, 2013).

As pesquisas científicas acerca do telhado verde ainda são incipientes no Brasil, onde não existem normas técnicas específicas para este sistema. Já em outros países onde a tecnologia é comumente utilizada, existem publicações de referências normativas, como é o caso da diretriz FLL na Alemanha, pioneira sobre o assunto. Atualmente os EUA, a China e Singapura contam com várias normas técnicas publicadas. Outros países possuem manuais, guias e orientações técnicas. A tabela 5.3 elenca os países e suas publicações técnicas relativas a especificações, implantação e manutenção de telhados verdes.

Tabela 5.3 – Normas técnicas, diretrizes, manuais e guias sobre telhado verde no mundo

País	Instituição	Publicação	Ano	Descrição
Alemanha	FLL	Diretrizes	2018	Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing
Austrália	State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries	Guia	2014	Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia
	Environa Studio, Sydney	Manual	2010	Green Roof Resource Manual

Canadá	Toronto Building, Canada	Norma	2017	Toronto Municipal Code Chapter 492, Green Roofs
	Livegreen	Guia	2013	City of Toronto guidelines for Biodiverse Green Roofs
	Toronto Building	Diretrizes	2010	Toronto Green Roof Construction Standard: Supplementary Guidelines
	Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)	Manual	2006	Green Roofs: A Resource Manual for Municipal Policy Makers
	Technology Directorate. Public Works and Government Services Canada	Manual	2002	Introductory Manual for Greening Roof
China	Beijing BBQTS	Especificação	2015	DB11/T 281-2015, Code for Roof Greening
	Hebei HBQTS	Regulamentação técnica	2011	DB13/T 1433-2011, Technical Regulations for Roof Greening
	Shenzhen SBQTS	Especificação	2009	DB440300/T 37-2009, Code for the Design of Roof Greening
	Guangzhou BQTS	Especificação técnica	2007	DB440100/T 111-2007, The Technical Code for Roof Greening
	Urbis Limited	Guia	2007	Study on Green Roof Application in Hong Kong
Emirados Árabes Unidos	Dubai Municipality	Manual	2018	Manual of Green Building Materials, Products & Their Testing Facilities
	Ministry of Infrastructure Development	Manual	2009	Green Building Guidelines
	Dubai Municipality	Regulamentação técnica	2007	Green Building - Regulations & Specifications
Espanha	BCN ROC Barcelona	Guia	2015	Guia de terrats vius i cobertes verdes
	La Fundación de la Jardinería y el Paisaje	Norma	2012	NTJ 11C Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo sobre cubiertas verdes
Estados Unidos da América	American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2018	ASTM Standard E2788-18, Standard Specification for Use of Expanded Shale, Clay and Slate (ESCS) as a Mineral Component in the Growing Media and the

			Drainage Layer for Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2015	ASTM Standard E2396-15, Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2015	ASTM Standard E2397-15, Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads Associated with Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2015	ASTM Standard E2398-15a, Standard Test Method for Water Capture and Media Retention of Geocomposite Drain Layers for Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2019	ASTM Standard E2399-19, Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2015	ASTM Standard E2400-06(2015)e1, Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2014	ASTM Standard E2777-14, Standard Guide for Vegetative (Green) Roof Systems
American Society for Testing and Materials (ASTM)	Norma	2013	ASTM Standard D7852-13, Standard Practice for Use of an Electrically Conductive Geotextile for Leak Location Surveys.
Single Ply Roofing Industry (SPRI)	Norma	2016	ANSI/SPRI RP-14 2016 Wind Design Standard for Vegetative Roofing Systems
Single Ply Roofing Industry (SPRI)	Norma	2017	ANSI/SPRI VF-1 2017 External Fire Design Standard for Vegetative Roofs
Single Ply Roofing Industry (SPRI)	Norma	2018	ANSI/SPRI VR-1 2018, Procedure for Investigating Resistance to Root or Rhizome Penetration on Vegetative Roofs.
FM Global Property Loss Prevention Data Sheets	Diretrizes	2011	1-35: Green Roof Systems
FM Global Property Loss Prevention Data Sheets	Diretrizes	2016	1-54: Roof loads for new construction
NRCA – National Roofing Contractors Association	Manual	2017	The NRCA Vegetative Roof Systems Manual

Japão	Organization for Landscape and Urban Green Technology Development	Guia	1999	Guide to Roof and Wall Green Technologies
	GRO	Especificação	2014	The GRO Green Roof Code
	ABG	Guia	2010	Guide to Green Roof
	Groundwork Sheffield	Manual	2010	Green Roof Guidelines
Reino Unido	Drivers Jonas and EDAW AECOM	Orientação	2009	Greater Manchester Green Roof Guidance
	Hassell and Coombes	Manual	2007	KS11: Green Roofs CIBSE
	Research Information Association (CIRIA)	Guia	2007	Building Greener: Guidance on the Use of Green Roofs, Green Walls and Complementary Features on Buildings, Construction Industry
	Forbes	Guia	2006	The Green Roof Pocket Guide
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2010	CUGE Standard CS E01:2010 - Guidelines on Design Loads for Rooftop Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2010	CUGE Standard CS E03:2010, Guidelines on Substrate Layer for Rooftop Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2010	CUGE Standard CS E04:2010, Guidelines on Filter, Drainage and Root Penetration Barrier Layers for Rooftop Greenery
Singapura	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2012	CUGE Standard CS E05:2012 - Guidelines on Waterproofing for Rooftop Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2012	CUGE Standard CS E06:2012 - Guidelines on Irrigation for Rooftop Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2012	CUGE Standard CS E07:2012 - Guidelines on General Maintenance for Rooftop Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2012	CUGE Standard CS E08:2012 - Guidelines on Design and Construction of Pitched Green Roof

	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2014	CUGE Standard CS E10:2014 - Guidelines on Design Loads for Skyrise Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2014	CUGE Standard CS E11:2014 - Guidelines on Design For Safety of Skyrise Greenery
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2017	CUGE Standard CS E12:2017 - Design Guides to Promote Biodiversity on Roof Gardens
	Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)	Norma	2013	CUGE Standard CS A03:2013 - Specifications for Soil Mixture for General Landscaping Use
	Vinnova	Manual	2017	The Swedish Green Roof Handbook - Substrate and vegetation
Suécia	Vinnova	Manual	2017	The Swedish Green Roof Handbook - Concrete, Insulation and waterproofing
	Vinnova	Manual	2017	The Swedish Green Roof Handbook - Guidance

Fonte: Autor.

A principal barreira para a construção de um telhado verde, segundo apontado por Chen (2013), é o custo de sua implantação, que via de regra é maior que a de um telhado convencional. Além disso, a necessidade de manutenção e operação tornam o investimento significativamente maior durante sua vida útil, sobre este aspecto faltam estudos considerando os custos de manutenção. Inevitavelmente estes custos podem ser os principais obstáculos para a viabilidade de implantação do telhado verde (ZHANG *et al.*, 2012).

A viabilidade de implantação desta tecnologia requer a verificação de alguns fatores referentes ao ambiente e à edificação. Em uma construção já existente a averiguação da capacidade estrutural em suportar a carga adicional do sistema é o principal fator. A viabilidade está condicionada ainda a condições do clima local, índices pluviométricos e possibilidade de um sistema de irrigação eficiente, além de disponibilidade de recursos para custear a implantação e as ações de

manutenção (POUEY, 1998). A figura 5.2 destaca os fatores condicionantes para a viabilidade de implantação de um telhado verde.

Figura 5.2 – Fatores condicionantes para a construção de um telhado verde



Fonte: Autor.

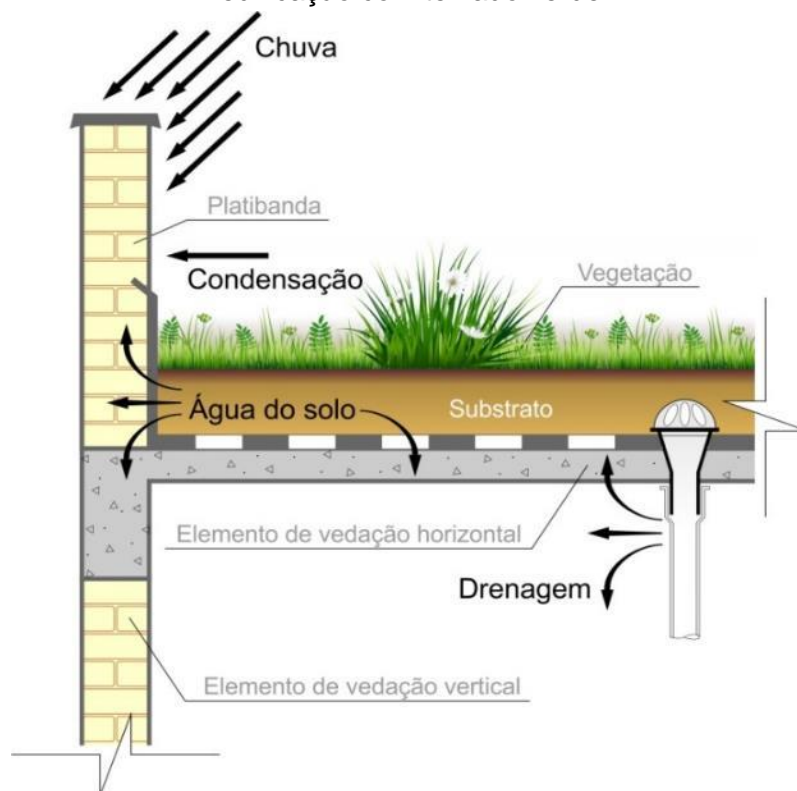
São muitas as vantagens do telhado verde, porém a tecnologia ainda é pouco aplicada e requer estudos mais aprofundados, principalmente no Brasil e demais países da América Latina. As pesquisas mostram que o telhado verde traz benefícios para o meio ambiente, para a própria edificação, para seu entorno e para seus usuários, entretanto, há poucos estudos relativos às possíveis manifestações patológicas nesse sistema e na edificação na qual está inserido, bem como de sua gestão e manutenção.

As principais preocupações com a implantação de telhados verdes nas edificações são os possíveis danos que podem ocorrer nas superfícies das coberturas e se referem especialmente a problemas de infiltração de água (CHEN, 2013). Além disso, deficiência no sistema de impermeabilização, enraizamento das espécies vegetais nos materiais de construção, alagamentos pela contenção de águas pluviais e de irrigação devido ao entupimento dos coletores de drenagem pelos sedimentos, e sobrecargas estruturais são preocupantes.

No caso dos telhados verdes, a infiltração de água nos elementos da edificação tem origem pelo contato direto destes com a água pluvial e também pela água de irrigação. Pode-se acrescentar ainda, que os elementos de vedação de uma edificação com telhado verde estão sujeitos ao ingresso de água oriunda do solo úmido e favorecido pela pressão, através do mecanismo de permeação ou percolação. Nas platibandas, por exemplo, se não observadas as premissas básicas de impermeabilização, podem surgir problemas com a umidade ascendente. Se o sistema de drenagem não for adequadamente projetado, dimensionado ou se apresentar falhas, pode levar as águas coletadas da cobertura diretamente para dentro dos elementos construtivos e para o interior da edificação, gerando sérios danos.

Para este sistema deve haver um plano de inspeção e manutenção preventiva com periodicidade adequada, contemplando limpezas frequentes, pois os dejetos da vegetação podem o obstruir de maneira inesperada, sendo necessário detectar e corrigir estes problemas apropriadamente. A Figura 5.3 mostra os mecanismos de ingresso de água que uma edificação com telhado verde está sujeita. Bertolini (2010) explica que a umidade descendente pode derivar tanto de uma atmosfera úmida, quanto do contato direto com a água líquida, isto é, das chuvas, e que a umidade ascendente está diretamente ligada à água contida no solo, podendo ter origem tanto de sua umidade natural, quanto de águas pluviais estagnadas.

Figura 5.3 - Mecanismos de possíveis ingressos de água em elementos de uma edificação com telhado verde



Fonte: Autor.

Fundamentada nas partes desenvolvidas no estudo, a tabela 5.4 detalha as possíveis manifestações patológicas em uma cobertura de telhado verde, seu provável diagnóstico e prognóstico.

Tabela 5.4 - Possíveis manifestações patológicas em telhados verdes

Sistema do TV	Manifestações patológicas			
	Sintoma	Diagnóstico	Prognóstico	
Camada de suporte Laje	Manchas de umidade	Infiltração	Corrosão da armadura	
	Manchas de ferrugem	Infiltração	Perda de área de aço	
	Deformação	Carga excessiva	Quadros fissuratórios	
	Trincas e fissuras	Recalque diferencial		Infiltração
				Corrosão da armadura
		Carga excessiva		Infiltração
				Corrosão da armadura
		Biodegradação		Infiltração
			Corrosão da armadura	
		Oxidação de armadura		Perda de área de aço
Desagregação	Carbonatação		Despassivação do aço	

	Deslocamento	Biodegradação	Infiltração
			Corrosão de armadura
		Oxidação de armadura	Perda de área de aço
Camada de suporte Telhado	Deformação	Carga excessiva	Colapso
	Bolor, fungos	Alta umidade relativa	Perda de capacidade portante
		Infiltração	Perda de capacidade portante
	Podridão	Alta umidade relativa	Colapso
		Infiltração	Colapso
	Trincas e fissuras	Variações dimensionais	Deformações
Cavas na madeira	Insetos xilófagos	Perda de resistência	
Camada de Impermeabilização	Descolamento da manta	Assentamento inadequado	Infiltração
	Rasgadura da manta	Recalque diferencial (tração)	Infiltração
		Gradiente térmico (tração)	Infiltração
		Contração e dilatação	Infiltração
		Manutenção descuidada da vegetação	Infiltração
	Perfuração da manta	Enraizamento	Infiltração
		Puncionamento	Infiltração
		Manutenção descuidada da vegetação	Infiltração
		Manutenção descuidada da vegetação	Infiltração
	Degradação da manta	Hidrólise por incompatibilidade de materiais	Infiltração
Sistema de drenagem pluvial		Dimensionamento incorreto	Infiltração
			Sobrecarga
	Empoçamento de água	Obstrução de ralos	Infiltração
			Sobrecarga
		Entupimento por detritos vegetais	Infiltração
			Sobrecarga
Camada drenante	Preenchimento dos vazios com solo	Carreamento de finos do substrato	Morte da vegetação
		Rizoma em excesso	Morte da vegetação
	Presença de água	Falha no sistema de drenagem	Morte da vegetação
Membrana filtrante	Colmatação	Carreamento de finos do substrato	Saturação do substrato
	Perfurações	Enraizamento	Preenchimento dos vazios da camada drenante com solo

		Manutenção descuidada da vegetação	Preenchimento dos vazios da camada drenante com solo
	Rasgadura	Deformação excessiva pela acomodação do substrato	Preenchimento dos vazios da camada drenante com solo
		Manutenção descuidada da vegetação	Preenchimento dos vazios da camada drenante com solo
Substrato	Erosão	Substrato inadequado	Comprometimento do substrato
		Falha na camada filtrante	Comprometimento do substrato
		Falha no sistema de drenagem	Comprometimento do substrato
	Deslizamento	Falha no sistema de contenção	Comprometimento do substrato
	Saturação	Falha no sistema de drenagem	Morte da vegetação
		Falha na camada drenante	Morte da vegetação
	Compactação	Pisoteio	Morte da vegetação
Vegetação	Vegetação seca	Ação da temperatura	Morte da vegetação
		Deficiência de manutenção	Morte da vegetação
	Vegetação intrusa	Deficiência de manutenção	Desconfiguração do TV
		Excesso de nutrientes	Desconfiguração do TV
	Tombamento de vegetação	Ação do vento	Morte da vegetação
	Arrancamento de vegetação	Ação do vento	Morte da vegetação
	Morte da vegetação	Deficiência de manutenção	Perda de função do TV
Asfixia radicular por saturação do substrato		Perda de função do TV	

Fonte: Autor.

Alicerçado no trabalho realizado por Coelho (2014), apresenta-se na tabela 5.5 os possíveis problemas patológicos que podem acometer cada elemento que compõe o sistema, apresentando também um levantamento de suas possíveis causas.

Tabela 5.5 – Causas prováveis e origens das prováveis anomalias em telhados verdes

Sistema do TV	Diagnóstico	Causas prováveis	Origem	Referencial teórico
Camada de suporte Laje	Umidade por infiltração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha de impermeabilização ▪ Falha no sistema de drenagem ▪ Deficiência na manutenção ▪ Penetração de raízes ▪ Envelhecimento natural dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução ▪ Uso 	Bertolini (2010); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).
	Fissuras por cargas excessivas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha no dimensionamento ▪ Falha no sistema de drenagem ▪ Uso inadequado de vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução ▪ Uso 	Souza e Ripper (1998); Thomaz (1989).
	Fissuras por recalque diferencial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha no dimensionamento ▪ Carga pontual excessiva 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução 	Souza e Ripper (1998); Thomaz (1989); Verçoza (1991).
	Fissuras por biodegradação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penetração de raízes ▪ Ação de ácidos das raízes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Execução ▪ Uso 	Bertolini (2010); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).
	Fissuras por oxidação de armaduras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carbonatação ▪ Falha de impermeabilização ▪ Penetração de raízes ▪ Envelhecimento natural dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Execução ▪ Uso 	Bertolini (2010); Cãnovas (1988); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).
Camada de suporte Telhado	Umidade por infiltração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha de impermeabilização ▪ Falha no sistema de drenagem ▪ Penetração de raízes ▪ Deformação excessiva ▪ Envelhecimento natural dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução ▪ Uso 	Bertolini (2010); Moreschi (2013); Souza <i>et al.</i> (2017).
	Deformação por cargas excessivas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha no dimensionamento ▪ Uso inadequado de vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução 	Moreschi (2013); Souza <i>et al.</i> (2017).
	Presença de insetos xilófagos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presença de umidade ▪ Falta de selante e impermeabilizante 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material ▪ Uso 	Verçoza (1991); Souza e Ripper (1998); Bertolini (2010).
	Variações dimensionais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infiltração ▪ Falta de impermeabilizante ▪ Alta umidade relativa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material ▪ Uso 	Bertolini (2010); Moreschi (2013); Souza <i>et al.</i> (2017).

Camada de impermeabilização	Furos e rasgos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imprudência na realização de manutenção na vegetação ▪ Movimentações térmicas ▪ Posterior fixação de elementos ▪ Penetração de raiz 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Uso 	Alves (2013).
	Estanqueidade deficiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência no assentamento da manta ▪ Rodapé com pouca altitude ▪ Soldas defeituosas ▪ Posterior fixação de elementos ▪ Envelhecimento natural dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material ▪ Execução 	Bertolini (2010); Gatto (2012); Souza <i>et al.</i> (2017).
	Biodegradação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enraizamento da vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material 	Alves (2013); Bertolini (2010); Souza e Ripper (1998).
	Hidrólise	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Envelhecimento natural dos materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material 	FLL (2018)
Sistema de drenagem pluvial	Empoçamento de água / Alagamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falha no dimensionamento ▪ Obstrução de ralos ▪ Entupimento dos condutores ▪ Deficiência na manutenção do substrato ▪ Carreamento de partículas ▪ Acumulo de detritos vegetais ▪ Abafamento pela vegetação do entorno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução ▪ Uso 	Morgado (2012); Coelho (2014); NCDEQ (2017).
Camada drenante	Deposição de finos do substrato	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilização de solo natural ▪ Substrato técnico inadequado ▪ Deficiência da membrana filtrante 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material ▪ Uso 	NTJ 11C (2012) <i>apud</i> Coelho (2014).
	Presença de água	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência no sistema de drenagem 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Uso 	Silva (2012).
Membrana filtrante	Colmatação pelo carreamento de finos do substrato	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilização de solo natural ▪ Substrato técnico inadequado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material 	NTJ 11C (2012) <i>apud</i> Coelho (2014).
	Furos e rasgos pela biodegradação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enraizamento e rizomas ▪ Deficiência na manutenção ▪ Excesso de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Execução ▪ Uso 	Bertolini (2010); Morgado (2012); NTJ 11C (2012) <i>apud</i> Coelho (2014).

	Furos e rasgos pela realização de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imprudência na realização de manutenção na vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso 	Raposo (2013).
	Degradação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Envelhecimento natural do material 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material 	Bertolini (2010).
Substrato	Perda de volume de substrato	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erosão por carreamento de finos devido a escolha incorreta do substrato ▪ Utilização de solo natural ▪ Erosão eólica do substrato 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Material 	ANSI/SPRI RP-14 (2016).
	Movimentações de cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deslizamento por falta de contenção ▪ Erosão eólica do substrato 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução 	ANSI/SPRI RP-14 (2016).
Vegetação	Proliferação de vegetação intrusa por excesso de nutriente ou rega	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência na manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso 	FLL (2018).
	Morte da vegetação pela ação do vento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrancamento ▪ Tombamento ▪ Ressecamento precoce do substrato ▪ Erosão eólica do substrato ▪ Escolha inadequada da vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Execução ▪ Uso 	Raposo (2013); ANSI/SPRI RP-14 (2016).
	Morte da vegetação por ressecamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência na manutenção ▪ Falta ou insuficiência de rega ▪ Compactação do substrato por pisoteio ▪ Escolha inadequada da vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Uso 	Chen (2013); Coelho (2014); Jim e Tsang (2011).
	Morte da vegetação por altas temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência na manutenção ▪ Falta ou insuficiência de rega ▪ Escolha inadequada da vegetação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeto ▪ Uso 	Chen (2013); Jim e Tsang (2011).
	Morte da vegetação por asfixia radicular	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiência na manutenção ▪ Deficiência na camada drenante ▪ Deficiência no sistema de drenagem ▪ Excesso de rega ▪ Saturação do solo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Execução ▪ Uso 	Tolderlund (2010)

Fonte: Autor.

Uma deficiente manutenção pode dar origem à problemas patológicos (RAPOSO, 2013), bem como erros de concepção, projeto e execução. As inspeções periódicas e manutenções regulares, preventivas e ocasionalmente corretivas sem postergar,

incluído cuidados com irrigação, fertilização, podas e replantio são essenciais para manter a saúde, o desempenho e a longevidade do sistema. A figura 5.4 mostra uma ação de manutenção referente a limpeza e replantio de mudas.

Figura 5.4 - Remoção de massa morta e replantio de mudas



Fonte: Autor.

A tabela 5.6 apresenta uma compilação de orientações de diversos autores para ações de gestão, inspeção e manutenção em telhados verdes.

Tabela 5.6 - Frequência de ações de gestão, inspeção e manutenção em telhado verde de acordo com vários autores

Ação	Frequência							
	Kuhn <i>et al.</i> (2000)	Tolderlund (2010)	Morgado (2012)	GRO (2014)	IMAP (2014)	ANSI/SPRI (2017)	NCDEQ (2017)	FLL (2018)
Inspeção da Impermeabilização	-	3x ano	Profunda investigação a cada 5 anos	-	-	-	-	1/2x ano
Inspeção da proteção anti raiz	-	1x ano	-	-	-	-	-	-
Inspeção camada de drenagem	-	1x ano	-	-	-	2x ano	-	2x ano
Inspeção em drenos	-	1/2x ano ou após evento de chuva ou vento	-	-	-	2x ano	6/6 meses ou imediato em caso de evento de chuva	1/2x ano
Acréscimo de substrato	-	-	-	-	-	-	-	Se necessário
Reposição de vegetação	-	-	-	-	-	-	-	Se necessário
Irrigação	1x semana	-	-	-	2/3x semana	Conforme necessidade	Sempre que houver 2 semanas sem chuva ou se a temperatura ambiente exceder a 37,8°C por mais de 3 dias consecutivos	Regularmente
Podas	2/3x ano	-	-	-	Anualmente para árvores e	-	1x mês	Regularmente

					arbustos e quinzenalmente para relvas			
Retirada de ervas daninha	2/3x ano	-	-	-	-	-	-	Regularmente
Limpeza de detritos e massa morta	-	-	-	-	1x semana	2x ano	-	-
Limpeza de vegetação intrusa em locais indesejados	-	-	-	-	-	-	-	Regularmente
Fertilização	-	1x ano	-	-	Mensal para relvas, semestral para arbustos e anual para árvores	-	-	2/4x ano
Limpeza dos elementos de drenagem	-	3x ano	2x ano	1x ano	-	-	-	Regularmente
Controle de pragas	-	-	-	-	-	-	-	Se necessário
Inspeção sistema de segurança anti queda	-	-	-	-	1x ano	-	-	-

Fonte: Autor.

A pesquisa exploratória foi concretizada com uma série de investigações em campo para averiguação e constatação da existência das possíveis anomalias levantadas na revisão bibliográfica, bem como a verificação de atendimento ou não de requisitos técnicos essenciais para o desempenho e durabilidade do sistema.

Os estudos de campo foram realizados entre os dias 01 de outubro de 2018 e 20 de agosto de 2019 e, portanto, transcorreram por um período de 11 meses.

Em se tratando das manifestações patológicas observadas nos telhados verdes visitados, foram constatados problemas como morte de vegetação, compactação do substrato, áreas sem cobertura vegetal, avanço de vegetação, rizoma e raiz em sistema de coleta e destinação de água pluvial, umidade ascendente e negativa e fissuras em paredes e platibandas. Na tabela 5.7 é apresentada uma relação dos problemas encontrados com a referência fotográfica correspondente.

Tabela 5.7 - Resumo dos problemas patológicos encontrados nas inspeções

Anomalia	Causas prováveis	Referencial teórico	Registro fotográfico
Manchas nuas	Ressecamento precoce do substrato, escolha inadequada da vegetação, ausência ou insuficiência de rega, compactação do substrato por pisoteio, deficiência na camada drenante, deficiência no sistema de drenagem, excesso de rega, saturação do solo	ANSI/SPRI RP-14 (2016); Chen (2013); Coelho (2014); Jim e Tsang (2011); Raposo (2013) Tolderlund (2010)	Figura 5.5
Abafamento do sistema de drenagem pela vegetação	Ausência de lastro de material granular no entorno da saída de drenagem	ANSI/SPRI RP-14 (2016); FLL (2018).	Figura 5.6 Figura 5.7
Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	Ausência ou deficiência de manutenção periódica	Kuhn e Peck (2000); IMAP (2014); NCDEQ (2017); FLL (2018).	Figura 5.8
Umidade ascendente	Ausência de faixa de material granular no encontro do plano horizontal com o plano vertical, penetração de raízes, falha no sistema de impermeabilização	ANSI/SPRI RP-14 (2016); Bertolini (2010); Souza e Ripper (1998); Verçoza (1991).	Figura 5.9 Figura 5.10 Figura 5.11
Morte da vegetação	Ressecamento precoce do substrato, falta ou insuficiência de rega, deficiência na camada drenante	Chen (2013); Jim e Tsang (2011).	Figura 5.12 Figura 5.13 Figura 5.14
Vegetação intrusa	Ausência ou deficiência de manutenção periódica	FLL (2018).	Figura 5.15

Umidade por infiltração negativa	Ausência de faixa livre de vegetação, falha no sistema de impermeabilização	Bertolini (2010); Moreschi (2013); Souza <i>et al.</i> (2017).	Figura 5.16
Acúmulo de detritos e massa morta	Ausência ou falha de manutenção periódica	FLL (2018).	Figura 5.17

Fonte: Autor.

Figura 5.5 – Manchas nuas



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.6 - Abafamento do sistema de drenagem pela vegetação do entorno



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.7 – Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.8 - Abafamento do sistema de irrigação



Fonte: Autor.

Figura 5.9 - Umidade ascendente e/ou por condensação



Fonte: Autor.

Figura 5.10 - Umidade ascendente e/ou por condensação



Fonte: Autor.

Figura 5.11 - Umidade ascendente e fissura na interface manta/reboco



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.12 - Morte de vegetação



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.13 - Morte por ressecamento



a)



b)

Fonte: Autor.

Figura 5.14 - Telhado verde extensivo com problemas de ressecamento e implantação de novo sistema de irrigação por gotejamento



Fonte: Autor.

Figura 5.15 - Vegetação intrusa por falta de manutenção periódica



Fonte: Autor.

Figura 5.16 - Umidade de infiltração negativa



Fonte: Autor.

Figura 5.17 - Acúmulo de detritos por ausência ou falha em manutenções periódicas



Fonte: Autor.

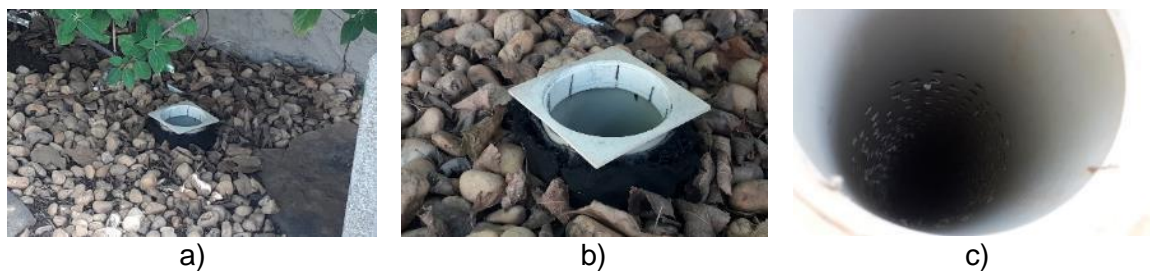
Alguns detalhes construtivos recomendados por publicações técnicas internacionais não foram atendidos em todos os telhados verdes visitados. Um exemplo é a construção de faixa de material granular de afastamento da vegetação de paramentos verticais como paredes e equipamentos e de sistema de coleta de água, recomendada por ANSI/SPRI RP-14 (2016); Bertolini (2010); FLL (2018); Moreschi (2013); Souza *et al.* (2017) e Verçoza (1991) não foi observada em nenhum dos telhados verdes visitados, exceto um deles, que atendeu esta premissa de projeto, mas em apenas um encontro com parede (FIGURA 5.18) e outro atendeu plenamente quanto ao material granular no entrono dos dispositivos de drenagem (FIGURA 5.19).

Figura 5.18 – Distanciamento da vegetação dos planos verticais com material granular



Fonte: Autor.

Figura 5.19 - Lastro de material granular no entorno das saídas de drenagem



Fonte: Autor.

Em nenhum telhado verde verificou-se a instalação de um sistema de drenagem auxiliar, em caso de obstrução do principal, como prevenção de sobrecarga estrutural não considerada mediante água acumulada (TORONTO BUILDING, 2010).

Da mesma forma, as observâncias quanto à prevenção de incêndio não foram atendidas, com a construção de faixas corta-fogo, conforme orientam ANSI/SPRI VF-1 (2017); FM Global (2011); FLL (2018); NCDEQ (2017) e Tolderlund (2010).

Dispositivos de segurança, de acordo com as orientações de NCDEQ (2017) e normas brasileiras vigentes, foram observados em todos os telhados verdes visitados (FIGURA 5.20).

Figura 5.20 – Dispositivos de ancoragem para segurança em trabalho à altura (Conforme orientações da NR18 e NR35)



Fonte: Autor.

Com relação às ações de gestão e manutenção dos telhados verdes, foi verificado que a irrigação apresenta ser a mais onerosa. O reaproveitamento das águas das

chuvas se propõe a ser uma medida a fim de minimizar estes custos. Em todos os telhados verdes inspecionados foi constatado a existência de uma equipe responsável pela manutenção, seja ela própria ou terceirizada com atividades frequentes. A Tabela 5.8 apresenta a frequência das ações de gestão e manutenção dos telhados verdes visitados.

Tabela 5.8 - Frequência de manutenção nos telhados verdes visitados

Telhados verdes visitados	Irrigação	Podas, remoção de massa morta, remoção de vegetação intrusa	Limpeza dos ralos e outros dispositivos de drenagem	Adubação	
1	Frequência	Semanal	Semanal	Anual	
2		Mensal	Semanal	Se necessário	
3		Diária	Se necessário	Bienal	
4		Mensal	Mensal	Se necessário	
5		Frequente	Se necessário	Frequente	
6		Quinzenal	Se necessário	Se necessário	
7		1a2x dia	Se necessário	Se necessário	Se necessário
8		Semanal	Semanal	Se necessário	
9		Semanal	Semanal	Se necessário	

Fonte: Autor.

A utilização de um sistema intensivo ou híbrido, ou seja, do tipo semi-intensivo, mostrou-se mais adaptado para o tipo de clima e intensidade de insolação típicos da região. Isso porque, como já esclarecido na revisão bibliográfica, a vegetação maior age de forma a promover uma barreira contra a insolação direta e ação do vento, utilizando a maior parte da radiação solar para as atividades de fotossíntese e evapotranspiração.

Como resultado dessa reflexão solar e absorção nas folhas obtém-se uma menor absorção de calor no solo e maior conservação de umidade (FIGURA 5.21).

Figura 5.21 - Vegetação de porte maior promove a proteção contra insolação e ventos diretos



Fonte: Autor.

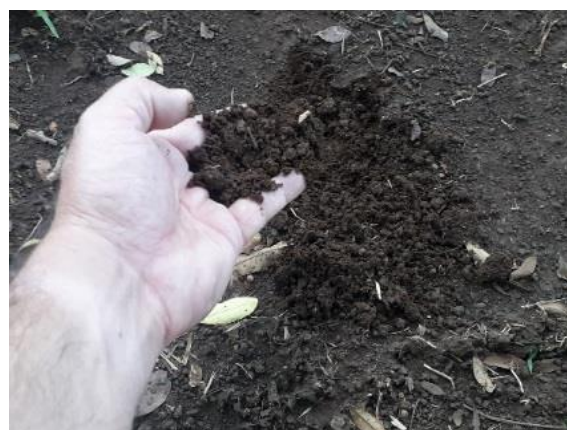
Ainda sobre esse aspecto, a utilização de recursos arquitetônicos que funcionem como barreira artificial são interessantes e resultam no mesmo efeito. Uma viga alta circundando o telhado verde, ou mesmo pergolado, quebram a incidência direta de raios solares em extensos períodos de tempo, promovendo sombra e atuando contra elevadas temperaturas no substrato, bem como desviam e o protegem contra a ação do vento. Este efeito pode ser constatado em um empreendimento cuja a vegetação apresentava-se saudável e o substrato sem ressecamento (Figura 5.22).

Figura 5.22 - Recursos que promovem a proteção contra insolação e ventos diretos nos telhados verdes

a) Detalhe arquitetônico; b) Preservação da umidade no substrato



a)



b)

Fonte: Autor.

Um escopo de projeto detalhado de um sistema de telhado verde é proposto e baseia-se nos estudos realizados na literatura técnica e na pesquisa de campo desenvolvida, fornecendo uma base de conhecimento para especificação, implantação e manutenção desta tecnologia (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 - Escopo de projeto detalhado de um sistema de telhado verde para implantação com a indicação de cada agente envolvido no processo

Atividade	Descrição	Objetivo	Profissional envolvido
Analisar as expectativas do cliente	Apelo visual, conforto térmico, conforto acústico, área para lazer e convivência, apelo ecológico e ambiental	Definir o projeto	Arquiteto Engenheiro civil Cliente
Levantar dados quanto às restrições físicas, legais e orçamentárias	Análise das variáveis da implantação, incluindo recursos financeiros	Definir o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Determinar da área a ser implantado o telhado verde	Porcentagem dos telhados a serem utilizados para implantar	Definir o projeto	Arquiteto Engenheiro civil Cliente
Determinar o tipo de telhado verde, com base nas expectativas, objetivos, restrições e orçamento	Extensivo, semi-intensivo ou intensivo	Definir o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Apontar a solução preliminar de implantação	De acordo com as pretensões do cliente, do orçamento e possibilidades de implantação	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Proceder com a análise preliminar econômico-financeira da implantação	Relativos a todos os quesitos de implantação, inclusive sobre o aspecto de sobrecargas na estrutura e estimativas de custos de manutenção	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Determinar espécies vegetais e espessura de substrato	De acordo com as pretensões do cliente, orçamento e possibilidades de implantação	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil Agrônomo Paisagista
Calcular as cargas do sistema para subsidiar o projeto estrutural	Fornecer sobrecargas efetivas para o calculista estrutural	Elaborar o projeto	Engenheiro civil
Apresentar solução definitiva quanto aos métodos construtivos e materiais a serem empregados	Memorial descritivo	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil Agrônomo Paisagista
Projetar o sistema de impermeabilização	Em observância aos detalhes importantes a fim de se evitar possíveis manifestações patológicas	Elaborar o projeto	Engenheiro civil
Formatar o projeto paisagístico	De acordo com expectativas e tipo de telhado verde definido	Elaborar o projeto	Cliente Agrônomo Paisagista

Projetar o sistema de irrigação	De acordo com as premissas fornecidas pelo agrônomo e paisagista	Elaborar o projeto	Engenheiro civil Agrônomo
Projetar o sistema elétrico	Iluminação e alimentação do sistema de irrigação se for automatizado	Elaborar o projeto	Engenheiro eletricista Engenheiro civil
Projeto de prevenção contra incêndio e pânico	Atendimento à legislação vigente	Elaborar o projeto	Engenheiro civil
Projeto executivo do telhado verde	Todos os detalhes como impermeabilização, tipo e espessura de substrato, camada anti raiz, isolamento térmico, irrigação manual ou automatizada, elétrica, vegetação, detalhes construtivos importantes, sistema de segurança para implantação e manutenção, requisitos contra incêndio e ação do vento, memoriais descritivos de especificação de materiais, manual do proprietário com instruções de ações de manutenção durante toda a vida útil do telhado verde e seus componentes.	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Elaboração de planilha orçamentária definitiva detalhada com quantidades de materiais e serviços	Valor final da obra	Elaborar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Elaboração de cronograma da obra	Determinação de prazo de execução e previsões de desembolsos	Planejar a execução do projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Documentação legal	Garantia de atendimento aos requisitos legais do município, estado, união e outros órgãos como Corpo de Bombeiros	Executar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Construção do TV	Acompanhamento da obra para garantia de qualidade dos materiais empregados e execução	Executar o projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Elaboração do manual do proprietário	Guia completo de uso, operação e manutenção do TV com todas as informações necessárias aplicáveis durante sua vida. Neste devem constar as ações e periodicidades de manutenções preditivas, preventivas e corretivas	Manter as propriedades do projeto	Arquiteto Engenheiro civil
Manutenção do TV	Cliente herda o projeto concluído e as responsabilidades de manutenções periódicas	Manter as propriedades do projeto	Cliente

Fonte: Autor.

Vale ressaltar que para uma edificação existente a análise da viabilidade de implantação passa por um estudo minucioso de capacidade estrutural, bem como análise e adaptação dos sistemas de drenagem existentes para escoamento de água pluvial, sistemas hidráulicos para irrigação e sistemas elétricos para caso a irrigação for automatizada e iluminação, em caso de utilização da área.

Para a fase de projetos do telhado verde é recomendável a consulta às referências pertinentes à sua execução, dentre elas:

Referências internacionais:

- ANSI/GRHC/SPRI VR-1 Procedure for Investigating Resistance to Root Penetration on Vegetative Green Roofs
- ANSI/SPRI RP-14 Wind Design Standard for Vegetated Roofing Systems
- ANSI/SPRI VF-1 External Fire Design Standard for Vegetative Roofs
- ASTM Standard E2397-15, Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads Associated with Vegetative (Green) Roof Systems
- ASTM Standard E2777-14, Standard Guide for Vegetative (Green) Roof Systems
- CUGE Standard CS E01:2010 - Guidelines on Design Loads for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E03:2010, Guidelines on Substrate Layer for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E04:2010, Guidelines on Filter, Drainage and Root Penetration Barrier Layers for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E05:2012 - Guidelines on Waterproofing for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E06:2012 - Guidelines on Irrigation for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E07:2012 - Guidelines on General Maintenance for Rooftop Greenery
- CUGE Standard CS E08:2012 - Guidelines on Design and Construction of Pitched Green Roof

- CUGE Standard CS E10:2014 - Guidelines on Design Loads for Skyrise Greenery
- CUGE Standard CS E11:2014 - Guidelines on Design For Safety of Skyrise Greenery
- DB11/T 281-2015, Code for Roof Greening
- DB440100/T 111-2007, The Technical Code for Roof Greening
- DB440300/T 37-2009, Code for the Design of Roof Greening
- FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing
- NTJ 11C Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo sobre cubiertas verdes

Referências nacionais:

- ABNT NBR 14037:2011 Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos
- ABNT NBR 15575-1:2013 Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais
- ABNT NBR 15575-5:2013 Edificações habitacionais - Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas
- ABNT NBR 16325-1:2014 Proteção contra quedas de altura Parte 1: Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D
- ABNT NBR 16489:2017 Sistemas e equipamentos de proteção individual para trabalhos em altura - Recomendações e orientações para seleção, uso e manutenção
- ABNT NBR 5674:2012 Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção
- ABNT NBR 9077:2001 Saídas de emergência em edifícios
- ABNT NBR 9574:2008 Execução de impermeabilização
- ABNT NBR 9575:2010 Impermeabilização - Seleção e projeto
- Norma Regulamentadora Nº 18
- Norma Regulamentadora Nº 35

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar das inspeções de campo terem sido detalhistas e rigorosas, a quantidade de telhados verdes visitados não permite servir de amostragem estatística. Ouve dificuldade de atingir o número de amostras pretendidas, devido principalmente à dificuldade de autorização para acesso.

Apesar deste impasse, as visitas técnicas nos telhados verdes com permissão de acesso por parte de seus proprietários foram abrangentes, inclusive com levantamentos de informações quanto às ações de gestão e manutenção por parte de seus gestores.

Foram verificadas algumas manifestações patológicas instaladas principalmente na vegetação, por ressecamento decorrente de falta ou falha na irrigação e pisoteio e compactação do substrato.

Nos componentes da edificação, as anomalias se resumem em infiltração de água devido a falha no sistema de impermeabilização e pela falta do afastamento da vegetação com faixas de material granular para impedir condensação de umidade e ataque de raízes e rizomas.

No geral, pode-se observar alguns aspectos relevantes apontados na literatura com relação a requisitos construtivos essenciais e que não foram observados na construção dos telhados verdes inspecionados. Para alguns deles, cabem questionamentos, como por exemplo, a proteção contra danos provocados pelo vento, visto que no Brasil é pouco comum eventos críticos desta natureza, mas para outros, como a orientação para proceder com o afastamento da vegetação dos pontos de drenagem das águas das chuvas, não há o que discutir.

As questões sobre prevenção ao incêndio nos telhados verdes com a construção de faixas separadoras, livres de vegetação, bem como distanciamento destas de paredes e equipamentos não foram observadas. Apesar de alguns telhados verdes visitados conterem tais faixas, essas foram construídas com a intenção de servir

mais como passarelas de acesso, do que como um dispositivo de prevenção contra o alastramento do fogo em caso de incêndio.

Como já dito, também não foi observada atenção massiva sobre as questões de implantação de faixas de material granular no entorno de dispositivos de drenagem e também em bordas e encontros com anteparos verticais como platibandas, paredes e outras estruturas construtivas. Com relação aos dispositivos de drenagem sem a execução desse artifício, foram observadas avanço de vegetação, rizomas e raízes, abafando e comprometendo sua áreação.

As saídas de emergências de águas das chuvas, em caso de obstrução da drenagem principal, não foram implantadas em nenhum dos telhados verdes visitados.

Com relação aos potenciais danos causados pela ação do vento pela não atendimento a recomendação de previsão de material granular em bordas, perímetros e encontros com paramentos verticais e estruturas emergentes como paredes, platibandas, mobiliários e outros, provavelmente não resultará em problemas, diante da baixa ocorrência destes eventos climáticos críticos no Brasil, mas com relação aos danos no decorrer do tempo por enraizamento, penetração de rizomas, humidade permanente e abafamento e obstrução dos sistemas de drenagem, estes certamente ocorrerão.

Nos telhados verdes do tipo intensivo e semi-intensivo, observou-se uma melhor qualidade na saúde da vegetação. Provavelmente resultado do sombreamento e quebra do vento promovido pelas espécies mais altas, fazendo com que haja conservação por mais tempo da umidade do substrato e pelo efeito barreira dos raios solares, o que resulta também em uma temperatura mais baixa no substrato. Com relação a este aspecto, um recurso arquitetônico como a utilização de pérgolas pode ser utilizado e obter resultados parecidos.

7 CONCLUSÕES

O presente estudo pretende contribuir para o avanço da tecnologia de telhados verdes no Brasil ao analisar questões relacionadas a sua saúde, durabilidade, mecanismos de degradação, manifestações patológicas, aspectos importantes de projeto e de execução a serem observados, bem como ações de gestão e manutenção durante sua vida útil.

O objetivo principal do trabalho teve como foco identificar as ocorrências patológicas nos telhados verdes e nas edificações, provenientes deles, e analisar as ações de gestão e manutenção necessárias durante sua vida útil. Num primeiro momento foram estudadas publicações científicas sobre o estado da arte dos telhados verdes. Num segundo momento o estudo foi direcionado para as questões da área da patologia das construções seguido de aprofundamento nas manifestações patológicas que podem acometer o sistema e a edificação da qual esteja implantado, e ainda verificar as ações necessárias à sua gestão e manutenção em publicações técnicas internacionais.

Visando observar na prática os problemas patológicos, tanto no próprio telhado verde, quanto na edificação, ligados diretamente à sua implantação, foram realizadas visitas técnicas em nove (9) edificações portadas desse sistema na cidade de Belo Horizonte, MG, Brasil.

No que diz respeito ao sistema do telhado verde, este é usualmente adotado há milhares de anos pela humanidade. Nos tempos recentes a tecnologia é empregada principalmente nos países europeus. Já no Brasil, a tecnologia é pouco difundida e sua utilização ainda é muito pouco representativa, necessitando de mais estudos, considerando principalmente o nosso clima.

As tipologias mais usuais de telhados verdes se subdividem em três, cada qual diferenciada pelo tipo de vegetação empregada, o que está diretamente ligado à espessura necessária de substrato. O tipo extensivo pode ser implantado com uma espessura de substrato de até 20 cm e suporta espécies vegetais rasteiras e pequenas, como musgo, Sedum, herbáceas e gramíneas. O tipo semi-intensivo

pode ter uma espessura entre 20 e 60 cm e comporta, além dos tipos de plantas já citados, arbustos. Por último, o tipo intensivo, que não tem limitação quanto ao porte de espécies vegetais, podendo ser composto por árvores de grande porte, a espessura do seu substrato é maior que 60 cm, podendo ultrapassar 100 cm, o que, obviamente, requer uma estrutura projetada para este fim.

Existem alguns sistemas construtivos simplificados, podendo ser aplicados até mesmo em telhados inclinados, após uma verificação de sua capacidade portante. Para isso é necessário a utilização de elementos contra deslizamento e barreiras de perímetro. Há também sistemas de tapetes pré-vegetados que são literalmente desenrolados por sobre o telhado ou na laje e ainda, sistemas modulares, compostos por pequenos módulos já vegetados que são encaixados lado a lado, cobrindo a área desejada.

Para climas tropicais, a seleção das espécies vegetais deve levar em consideração a necessidade de uso reduzido de água para irrigação, pois esta é, das ações de manutenção de telhado verde, a mais onerosa. Assim sendo, espécies mais resistentes e que necessitam de pouca água são as mais recomendadas, pois nos trópicos a vegetação fica sujeita a condições extremas com relação à radiação solar e temperatura, que ressecam rapidamente o substrato. Os custos com a irrigação é a maior desvantagem deste sistema, pois necessita de rega frequente. Nos trópicos, esta necessidade é maior, mas a alternativa de captação e reserva das águas pluviais para este fim pode ser um atenuante.

Quanto aos benefícios que um telhado verde pode trazer para a edificação são vários. Estudos ao redor do mundo comprovam que os resultados vão desde a redução de temperatura e ruído no interior da edificação, mitigação de problemas decorrentes de escoamento de águas pluviais, melhoria da qualidade do ar, promoção estética, transformação de áreas antes inutilizáveis em espaços de convivência e lazer, além de propiciar ambiente favorável para a fauna e flora.

A principal motivação para implantação de telhados verdes parte da necessidade de promoção de massas verdes em áreas densamente urbanizadas. Grandes áreas disponíveis em coberturas nuas desperta o interesse de cultivo de

vegetação. No Brasil as coberturas se limitavam exclusivamente a sua principal função, que é de vedação horizontal e abrigo e instalação de alguns equipamentos técnicos. Vários países europeus, EUA e Canadá já adotam massivamente o sistema buscando também, além dos benefícios ambientais de seu entorno, seus benefícios para a edificação, como por exemplo, economia de energia, conforto térmico, acústico, estético e ampliando a área de lazer e convivência no ambiente construído. Na Alemanha essa tecnologia é mais consolidada e aquele país lidera o ranking de número de telhados verdes no mundo. Outros países como Singapura, Suécia e China vêm se posicionando como grandes incentivadores, apresentando um forte crescimento de instalações com telhado verde.

Estados Unidos, China e Singapura possuem normas técnicas específicas para telhados verdes, outros países como Alemanha, Austrália, Canadá, Emirados Árabes Unidos, Espanha, Japão, Reino Unido e Suécia contam com guias, manuais, diretrizes e especificações para se construir e gerir telhados verdes.

Apesar de ainda não haver qualquer tipo de norma específica sobre o telhado verde em nosso país, vários estudos foram e estão sendo realizados com base nas referências existentes no restante do mundo, resultando em belos projetos implantados, apesar de ainda em número reduzido.

A falta de tradição dessa tecnologia no Brasil deixa um déficit tecnológico para as gerações atuais, necessitando de um amplo investimento em estudos e acompanhamento de edificações com o sistema para subsidiar novos projetos, afastando possibilidades de falhas para que assim se possa intensificar a sua utilização.

As pesquisas de campo mostraram que os problemas patológicos se concentram essencialmente na própria vegetação e muito pouco na edificação propriamente dita. Isso porque a construção eficiente dos sistemas de uma cobertura como impermeabilização e drenagem são fatores importantes mesmo sem a presença do telhado verde, isto é, se houver possibilidade de instalação de algum problema patológico, este seria de aspecto congênito e existiria mesmo sem a presença do telhado verde na cobertura. Portanto, a existência do telhado verde não seria a

causa do problema, mas por outro lado, o agravaria. Contudo, se as manutenções preventivas necessárias não forem observadas, vários problemas poderão surgir.

Pode-se observar que o principal motivo de problemas patológicos na vegetação do telhado verde está diretamente ligado a ausência ou falha na irrigação e esse item representa o maior peso financeiro dos custos de manutenção, considerando o clima de nosso país.

Conclui-se que, apesar dos telhados verdes requererem maior atenção quanto a manutenções preditivas, preventivas e corretivas, com inspeções periódicas mais frequentes se comparado às coberturas convencionais, a ocorrência de manifestações patológicas é pouco frequente se observadas e atendidas as necessárias premissas técnicas projetuais e boas práticas construtivas, bem como as ações necessárias e a frequência correta de manutenção.

Com relação aos referidos aspectos benéficos dos telhados verdes é importante ressaltar que a quantificação de sua eficiência sobre o clima circundante ao mitigar o efeito ilha de calor, o seu comportamento na diminuição da parcela de água absorvida em eventos de chuvas intensas, o efeito da lixiviação de nutrientes do substrato podendo contaminar o meio ambiente e o carreamento de detritos para os sistemas públicos de drenagem, necessitam de aprofundamento nos estudos.

Outro aspecto não menos importante está relacionando ao balanço energético, visto que a construção de um telhado verde demanda maior energia incorporada, isso conseqüentemente pelo fato da fabricação e aplicação de seus componentes, que numa cobertura tradicional estes não seriam empregados. Paralelamente a essa questão, os telhados verdes permitem a utilização de materiais reciclados na sua construção, fazendo com que esta questão demande um aprofundamento nos estudos sobre sustentabilidade e impacto ambiental entre sistemas de cobertura convencionais e telhados verdes. Obviamente estes estudos científicos são muito complexos devido a necessidade de avaliar uma grande gama de variáveis, incluindo a durabilidade dos materiais constituintes, a demanda de recursos necessários para a gestão e manutenção durante a vida útil dos sistemas, a

economia de energia proporcionada pelos telhados verdes, bem como a fixação de CO₂ pela vegetação implantada.

O escopo de projeto detalhado proposto para a implantação de um telhado verde aborda as ações necessárias desde a concepção do projeto, passando pela construção e chegando até as ações de manutenção durante sua vida útil, indicando cada agente envolvido no processo. A atenção a esta sequência de ações, bem como às referências técnicas recomendadas, poderá garantir o alcance dos objetivos almejados com a implantação desta tecnologia na edificação.

8 LIMITAÇÕES DESTE ESTUDO E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

A quantidade de amostras para os estudos de campo não foi alcançada de forma abrangente e conforme pretendido. As dificuldades de se conseguir autorização para as visitas técnicas foram notadas no decorrer do trabalho, apesar de exaustivas tentativas. Assim sendo, o estudo se limitou a 9 (nove) amostras e, portanto, não têm representatividade estatística embora o alcance principal da pesquisa fora atingido.

Outro aspecto não menos relevante é a idade relativamente baixa das edificações inspecionadas. Isso resulta em pouco conhecimento do comportamento da tecnologia no decorrer dos anos, com idades mais avançadas.

Vale ressaltar ainda que diante das limitações do presente trabalho, dos quais citamos, foi possível obter informações relevantes para os objetivos almejados.

Com relação ao campo das manifestações patológicas provenientes de telhados verdes, e diante das limitações do presente estudo aqui apresentadas, entende-se que futuramente devem ser desenvolvidos estudos para exame do comportamento do TV e de seus constituintes no decorrer do tempo, como por exemplo:

- a) Estudar os telhados verdes inspecionados neste trabalho para averiguação de surgimento ou não de problemas patológicos com o avanço do tempo;

- b) Constatar se as ações de manutenção e sua periodicidade foram suficientes para a boa saúde do telhado verde.
- c) Estudar até onde a influência da idade do telhado verde corrobora com a aparição de anomalias, ou seja, determinar a vida útil de seus componentes;
- d) Verificar as condições gerais de saúde dos telhados verdes apresentados neste trabalho no decorrer dos anos.

E também, diante da comprovação de que os custos de manutenção têm relevante peso na decisão de implantação de um TV, abre-se espaço para sugestões de trabalhos futuros, entre eles:

- a) Realizar estudo sobre custos de manutenção durante a vida útil de um telhado verde;
- b) Comparar os custos de manutenção entre telhados verdes intensivos, semi-intensivos e extensivos;
- c) Confirmar se o custo com irrigação, no Brasil, representa a maior parcela dos custos totais de manutenção e gestão de telhados verdes;
- d) Identificar qual a melhor opção, com relação a custo de manutenção, de método de irrigação para telhados verdes no Brasil;
- e) Estudar as espécies vegetais mais indicadas para o clima brasileiro para minimizar os custos de manutenção, principalmente os de irrigação;
- f) Avaliar questões relativas à sustentabilidade, energia incorporada e ciclo de vida dos sistemas constituintes de telhado verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMIC, E. A. **The Nordic Spirit: Architecture and Regeneration in the Northern Landscape**. 2016. 352 f. Dissertação (Mestrado Magister Scientarum)-Umhverfis- og byggingarverkfræðideild - University of Iceland, Reykjavík, 2016.

ALBERTON, J. O. **Influência modernista na arquitetura residencial de Florianópolis**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ALVES, J. A. R. L. **Impermeabilização e Isolamento Térmico de Coberturas em Terraço, Sistemas Construtivos e Patologias**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Área Departamental de Engenharia Civil, Lisboa, 2013.

ANDREWS III, C. **Case Study: An Effective Model for Green Roofs in San Diego County**. California Polytechnic State University San Luis Obispo. San Luis Obispo, California, 2016.

ANNE, B. C.; BASS, B. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, p. 409-422, Abr. 2008.

ANSI/SPRI RP-14. **Wind Design Standard For Vegetative Roofing Systems**. Waltham, MA, p. 50, 2016.

ANSI/SPRI VF-1. **External Fire Design Standard for Vegetative Roofs**. Waltham, MA, p. 10, 2017.

ANSI/SPRI VR-1. **Procedure for Investigating Resistance to Root or Rhizome Penetration on Vegetative Roofs**. Waltham, MA, p. 12, 2018.

ARQUITEXTOS. **Vitruvius**, 2000. ISSN ISSN 1809-6298. Disponível em: <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.024/785>. Acesso em: 23 setembro 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 5 - Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM International**, 2018. Disponível em: <https://www.astm.org/>. Acesso em: 30 dezembro 2018.

BARROS, P. M. L. D. **Processos de manutenção técnica de edifícios: plano de manutenção. Coberturas**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

BASS, B.; BASKARAN, B. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. **National Research Council Canada Technical Report NRCC-46737**, 2001.

BASTOS, S. M. S. L. **Seleção de plantas para uso em telhados verdes extensivos na Zona da Mata de Pernambuco**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em agronomia, melhoramento genético de plantas)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

BENZING, D.H. **Vascular epiphytes**. Cambridge University Press, New York, 354 p. 1990.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 351-360, dez. 2010.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: PINI, 1988.

CARPENTER, C. M. G. et al. Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. **Environmental Pollution**, v. 218, p. 664-672, 2016.

CARTER, T. L.; RASMUSSEN, T. C. Hydrologic behavior of vegetated roofs. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 5, p. 1261-1274, 2007.

CARVALHO, G. D. C. **Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com Callisia repens**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)-Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2018.

CHEN, C. F. Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. **Ecological Engineering**, v. 52, p. 51-58, 2013.

GOVERNMENT OF TORONTO. **Official plan guidelines city of Toronto**. Toronto, 2018. Disponível em: <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/>. Acesso em: 30 dezembro 2018.

COELHO, A. L. R. **Manutenção de coberturas verdes**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em construção e reabilitação)-Instituto Superior Técnico - Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2014.

COSTA, L. M. L. **Espaços Verdes Sobre Cobertura: uma Abordagem Estética e Ética**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagista)-Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CUGE. Government of Singapore, National Parks Board. **Centre for Urban Greenery and Ecology (CUGE)**, 2018. Disponível em: <https://www.nparks.gov.sg/cuge>. Acesso em: 30 dezembro 2018.

DEMOLINER, C. A.; POSSAN, E. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica**, n. 1, p. 1-14, Outubro 2013.

DIMITRIJEVIĆ, D. *et al.* Air pollution removal and control by green living roof systems. **Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering**, v. 11, n. 1, p. 47-51, 2018.

DUNNETT, N. *et al.* Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, p. 385-398, 2008.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. London, UK: Timber Press, 2008.

EARTH PLEDGE FOUNDATION. **Green Roof: Ecological Design and Construction**. p. 158. Michigan: Schiffer Design Book, 2005.

EMILSSON, T. *et al.* Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. **Ecological engineering**, v. 29, n. 3, p. 260-271, 2007.

ENVIRONA STUDIO. **Green roof design resource manual**. Sydney City Council Green Roof Resource Manual. p. 139. Sydney, 2010.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. **Retrofitting Housing with Lightweight Green Roof Technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil**, p. 1081-1098, 2015.

FENG, C.; MENG, Q.; ZHANG, Y. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p. 959-965, 2010.

FENOLLÓS, J. L. M. Etemenanki: a Zigurate da Babilónia contributo para a sua reavaliação arquitectónica. **Cadmo - Revista de História Antiga**, Lisboa, n. 20, p. 317-337, 2010.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FLL. **Green Roof Guidelines: Guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofing**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). Germany, 2018.

FM GLOBAL. **Green Roof Systems - Property Loss Prevention Data Sheets**. Factory Mutual Insurance Company. p. 35. 2011.

FRANÇA, A. A. V. *et al.* Patologia das construções: uma especialidade na engenharia. **Téchne**, n. 174, Setembro 2011.

GARCEZ, N. F. D. S. **Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas**. 2009. 204 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia de Aeródromos)-Instituto Superior Técnico - Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GATTO, C. M. **Coberturas verdes: a importância da estrutura e impermeabilização utilizadas**. 2012. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

GETTER, K. L. *et al.* Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 19, p. 7564-7570, 2009.

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Inspeção predial total - Diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2014.

GOMIDE, T. L. F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Engenharia diagnóstica em edificações**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2015.

GOMIDE, T. L. F.; FLORA, S. M. D. **Manual de engenharia diagnóstica: desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil**. São Paulo: Leud, 2018.

GOVINDAN, K.; SHANKAR, K. M.; KANNAN, D. Sustainable material selection for construction industry - A hybrid multi criteria decision making approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, n. , p. 1274-1288, Mar 2016.

GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES. **13th Annual Green Roof Industry Survey shows double-digit growth in 2016**. Green Roofs for Healthy Cities (GRHC). Seattle, 2017.

GREGOIRE, B. G.; CLAUSEN, J. C. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 963-969, 2011.

GRO - Green Roof Organisation. **Guidelines to Green Roofing**. The Green Roof Organisation. Londres, p. 15 p. 2009.

GRO - Green Roof Organisation. **The GRO Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for the UK**. The Green Roof Organisation - Groundwork Sheffield. Londres, p. 26. 2011.

GRO - Green Roof Organisation. **The GRO Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for the UK**. The Green Roof Organisation - Groundwork Sheffield. Londres, p. 36. 2014.

HIEN, W. N.; YOK, T. P.; YU, C. Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 25-54, 2007.

HONGSEOK, Y.; MINSUNG, C.; KANG, J. **Laboratory study of the effects of green roof systems on noise reduction at street levels for diffracted sound.** *Internoise 2010*. p. 1-11. Lisboa: 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA – IBDA. **Fórum da Construção**, 2018. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=8&Cod=1940>. Acesso em: 20 agosto 2018.

IGRA. Green roof types. **International Green Roof Association**, 2012. Disponível em: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php. Acesso em: 01 julho 2018.

IMAP. **Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia.** State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries. Melbourne, p. 132. 2014.

JASHEMSKI, W. F. The gardens of Pompeii, Herculaneum and the villas destroyed by Vesuvius. **The Journal of Garden History**, Londres, v. 12, n. 2, p. 102-125, 1992.

JIM, C. Y.; TSANG, S. W. Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. **Building and Environment**, Hong Kong, v. 46, p. 1263-1274, 2011.

JONOV, C. M. P. **Avaliação dos danos às edificações causados por águas de inundações e estudo de alternativas de proteção para tornar as edificações mais resilientes.** 2012. 242 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)-Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

JONOV, C. M. P.; NASCIMENTO, N. D. O.; SILVA, A. D. P. E. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 75-94, jan./mar. 2013.

KÖHLER, M. *et al.* Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics: far beyond the aesthetics. **Environmental Management and Health**, v. 13, n. 4, p. 382-391, 2002.

KÖHLER, M.; POLL, P. H. Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 5, p. 722-729, 2010.

KOSAREO, L.; RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2606-2613, 2007.

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

KUMAR, R.; KAUSHIK, S. C. Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. **Building and Environment**, v. 40, n. 11, p. 1505-1511, Novembro 2005.

LENCIONI, J. W.; LIMA, M. G. D.; MORELLI, F. **Uma discussão sobre o conhecimento dos fatores ambientais nos estudos sobre degradação do ambiente construído**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. 2006. p. 2990-2998.

LI ROGER, Y.; BABCOCK JR, W. Green roofs against pollution and climate change. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 695-705, 2014.

LIOR, *et al.* Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and Environment**, n. 66, p. 23-28, Ago. 2013.

LIRA, J. S. D. M. M. **Depleção abiótica e potencial de aquecimento global no ciclo de vida de telhado verde comparativamente a um telhado convencional**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em estruturas e Construção civil)-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

LIU, K.; BASKARAN, B. **Thermal performance of green roofs through field evaluation**. In: 1st North American Green Roof Conference: Greening Roof tops for Sustainable Communities, 2003, Toronto. 2003.

LIZ, D. G. S. D. **Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2016.

MAGILL, J. D. *et al.* **A History and Definition of Green Roof technology with recommendation for future research**. Research Papers. Paper 91. 62 f. Illinois: Southern Illinois University Carbondale. Jan. 2011.

MANTOVANI, A.; IGLESIAS, R. R. Bromélias terrestres na restinga de Barra de Maricá, Rio de Janeiro: Influência sobre o microclima, o solo e a estocagem de nutrientes em ambientes de borda de moitas. **Leandra**, v. 16, p. 17-37, 2001.

MANTOVANI, A.; IGLESIAS, R. R. Quando aparece a primeira escama? Estudo comparativo sobre o surgimento de escamas de absorção em três espécies de bromélias terrestres de restinga. **Rodriguésia**, p. 73-84, 2005.

MARTINEZ, P. **Eco house. Green roofs and vertical gardens**. 1. ed. Barcelona: Instituto Monsa de ediciones, 2015.

MAYER, H. Air pollution in cities. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 4029-4037, 1999.

MCDONOUGH, W. Concept for Rooftop Farming. Liuzhou, Guangxi, República Popular da China. **William McDonough + Partners**, 2005. Disponível em: <https://www.mcdonoughpartners.com/projects/concept-for-rooftop-farming/>. Acesso em: 13 outubro 2019.

MENDES, B. H. E. **Tetos verde e políticas públicas: uma abordagem multifacetada**. 2014. 347 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MENESES, G. A. P. **Avaliação experimental do comportamento térmico de coberturas verdes semi-intensivas na estação de arrefecimento**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

MENEZES, R. R. *et al.* Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção: Revisão. **Cerâmica**, v. 52, p. 37-49, 2006.

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**, v. 77, n. 3, p. 217-226, 2006.

MILLER, A. P. R. R. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba - PR**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MINKE, G. **Ecological Architecture: a Demand**. In: International Conference on Passive And Low Energy Architecture In Housing - Plea 86, Pécs. Hungary. 1986. p. 1-14.

MINKE, G. **Inclined green roofs: Ecological and economical advantages and passive**. In: International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA, 18. Florianópolis. 2001. p. 7-9.

MINKE, G. **Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos**. [S.l.]: Editora Fin de Siglo. 2004.

MONTERUSSO, M. A. *et al.* Runoff Water Quantity and Quality from Green Roof Systems. **Acta Horticulturae**, v. 639, p. 369-376, 2004.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. 4 ed. p. 49. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

MORGADO, J. M. F. Coberturas verdes. **Revista Impermeabilizar**, São Paulo, v. 125, p. 16, out. 2008.

MORGADO, J. M. F.; MARTINS, F. D. C. **Popularização da cobertura verde**. In: 13º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo, 2013.

MORGADO, J. N. P. L. V. **Plano de inspeção e manutenção de coberturas de edifícios correntes**. 2012. 267 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

NAGASE, A.; DUNNETT, N.; CHOI, M. Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof. **Ecological engineering**, v. 58, p. 156-164, 2013.

NCDEQ. **C-8 Green Roof**. Stormwater Design Manual. Raleigh, p. 17, North Carolina, 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NIU, H. *et al.* Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 11, p. 4302-4308, 2010.

NOWAK, D. J. *et al.* Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. **Air Pollution Modeling and Its Application XII**, Plenum, New York, v. 22, p. 399-407, 1988.

NTJ. **NTJ 11C Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo sobre cubiertas verdes**. Fundació de la jardineria i el paisatge. Barcelona. 2012.

OBERLANDER, C. H.; WHITELAW, E.; MATSUZAKI, E. **Introductory Manual for Greening Roof**. Technology Directorate Public Works and Government Services Canada. [S.I.], p. 32. 2002.

OBERNDORFER, E. *et al.* Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

OHNUMA JUNIOR, A. A.; GOMES, M. M.; SILVA, L. P. D. Efeitos globais da temperatura e da precipitação em telhados verdes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, n. 13, p. 234-251, 2017.

OLIVEIRA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. Ilha de calor na Amazônia. **Revista Pesquisa FAPESP**, n. 200, p. 78-79, 2012.

OSMUNDSON, T. H. **Roof Gardens: History, Design And Construction**. New York: WW Norton & Co, 1999.

PALHA, P.; CONTRERAS, E. P.; PEREIRA, A. **Jornada Internacional - Coberturas Ajardinadas**. FCUP (Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) - Porto, Portugal. Porto. 2012.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1712-1722, 2011.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in canada**. Status report On Benefits, barriers and opportunities For green roof and vertical garden Technology diffusion. Canada Mortgage and Housing Corporation. [S.I.]. 1999.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.

PHILIPPI, P. M. **Introduction to the german FLL-guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Green Roof Service, LLC. [S.I.]. 2002.

PIEPER, J. The Nature of Hanging Gardens. **Diadalos**, v. 23, p. 94-109, 15 Mar 1987.

PIOVESAN, T. R. **Caracterização acústica de dois sistemas modulares de telhados verdes brasileiros**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

POUEY, M. T. F. **Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas: vegetação e terraço**. 1998. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

PRATES, J. F. M. **Desempenho de coberturas verdes em zonas urbanas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis)-Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

PUJADAS, F. Z. A. **Seminário Nacional de Perícia do IBAPE**. Inspeção predial: a saúde do edifício. Vitória: [s.n.]. 2012.

QUERUZ, F. **Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RAJI, B.; TENPIERIK, M. J.; DOBBELSTEEN, A. V. D. The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 610-623, 2015.

RAPOSO, F. M. F. **Manual de boas práticas de coberturas verdes: análise de casos de estudo**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação)-Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAMA, S.; SALEMI, T. The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 15, p. 89-102, 2016.

RENTERGHEM, T. V.; BOTTELDOOREN, D. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 729-738, Março 2011.

RIGHI, G. V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análise de casos**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ROLA, S. M. **A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva**. 2008. 209 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ROLA, S. M. *et al.* **Natureza, água e o futuro das cidades no contexto das mudanças ambientais globais**. In: CBA-2003 – Congresso Brasileiro de Arquitetos, Rio de Janeiro, 2003.

ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8-9, p. 2100-2110, 2011.

SAADATIAN, O. *et al.* A review of energy aspects of green roofs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 155-168, 2013.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682-703, 2014.

SANTOS, P. S. **Estudos de implantação de coberturas verdes em edificações residenciais no município de belo horizonte**. 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado em Cosntrução Civil)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

SANTOS, P. T. D. S. *et al.* Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar. 2013.

SANTOS, S. M. D. *et al.* **Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro**. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. 13-15. 2017. Porto. set. 2017.

SCHOLZ-BARTH, K.; TANNER, S. **Green Roofs: Federal Energy Management (FEMP) Federal Technology Alert**. Report DOE/EE-0298, US Department of Energy. [S.l.]. 2004.

SGRA. Scandinavian Green Roof Association (SGRA). **Scandinavian Green Roof Association (SGRA)**, 2018. Disponível em: <https://greenroof.se/en/resources/>. Acesso em: 30 dezembro 2018.

SILVA, A. P.; CARVALHO JÚNIOR, A. N. ; BRANCO, L. A. M. N. . **A Concepção de Projetos de Revestimentos de Fachada em Empresas de Construção Civil**. In: III Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios - III Brazilian Workshop on Building Design Management, 2003, Belo Horizonte, 2003. p. 1-7.

SILVA, B. R. **Telhados verdes em clima tropical uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica**. 2016. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, J. R. R. D. **Coberturas e Fachadas Verdes**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Militar)-Instituto Superior Técnico - Academia Militar - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

SNODGRASS, E. C.; MCINTYRE, L. **The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Instalation, and Maintenance**. Londres: Timber Press, 2010.

SOUZA, R. B. D. *et al.* Influência das variáveis atmosféricas na degradação dos materiais da construção civil. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 1-19, Jan./Jun. 2017.

SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SPENCE, R.; MULLIGAN,. Sustainable development and the construction industry. **Habitat International**, v. 19, n. 3, p. 279-292, 1995.

SPRI. Single Ply Roofing Industry (SPRI). **Single Ply Roofing Industry (SPRI)**, 2018. Disponível em: <https://www.spri.org>. Acesso em: 30 dezembro 2018.

STERN, A. G. et al. Roteiro geológico pelos edifícios e monumentos históricos do centro da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 704-711, Dez. 2006.

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climate conditions. **Journal of Hydrology**, v. 414, n. 415, p. 148-161, 2012.

TAN, Y. P.; SIA, A. **A pilot green roof research project in Singapore**. Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities conference, Awards and Trade Show. p. 13. Washington, DC. 2005.

TERRAPIN BRIGHT GREEN. **Parkroyal on pickering**. [S.l.]. 2017.

THEODOSIOU, T. Green Roofs in Buildings: Thermal and Environmental Behaviour. **Advances in Building Energy Research**, v. 3, n. 1, p. 271-288, 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: Causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989.

TOLDERLUND, L. **Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West**. Denver, p. 59 p. 2010.

TORONTO BUILDING. **The Toronto Green Roof Construction Standard**. Office of the Chief Building Official, Toronto Building, City of Toronto. [S.l.], p. 21. 2010.

TSANG, S. W.; JIM, C. Y. Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 3590-3598, 2011.

TSELEKIS, K. Literature Review of the Potential Energy Savings and Retention Water from Green Roofs in Comparison with Conventional Ones. **Environmental and Climate Technologies**, v. 9, n. 1, p. 40-45, Setembro 2012.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Internacional. Mérida, p. 1-15. 2013.

URBIS LIMITED. **Study on Green Roof Application in Hong Kong**. Architectural Services Department. Hong Kong, p. 157. 2007.

VERÇOZA, Ê. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 740-752, 2016.

VILLARREAL, E. L.; BENGTSSON, L. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. **Ecological Engineering**, v. 25, n. 1, p. 1-7, 2005.

VINNOVA. **The Swedish Green Roof Handbook: Guidance**. [S.l.], p. 58. 2017.

WAHOO ART. **Hanging Gardens of Babylon By Maarten Van Heemskerck (1498-1574)**. Wahoo Art, 2004. Disponível em: <https://pt.wahooart.com/@/8XYGHA-Maarten-Van-Heemskerck-hanging%60-jardins-de-babil%C3%B3nia>. Acesso em: 29 junho 2018.

WESELY, M. L. Parameterization for surface resistance to gaseous dry deposition in regional scale numerical models. **Atmospheric Environment**, v. 23, n. 6, p. 1293-1304, 1989.

WILLIAMS, N. S. G.; RAYNER, J. P.; RAYNOR, K. J. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 9, n. 3, p. 245-251, 2010.

WONG, N. H. *et al.* Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. **Building and Environment**, v. 38, n. 3, p. 499-509, 2003.

WOOD, A. **Trends and challenges in high-rise buildings in the 21st century, the international high-rise award 2012, council on tall buildings and urban habitat**. 17th Congress of IABSE. p. 1-8. Chicago. 2008.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 31, p. 7266-7273, Oct. 2008.

YEANG, K.; POWELL, R. Designing the ecoskyscraper: premises for tall building design. **The structural design of tall and special buildings**, v. 16, p. 411-427, 2007.

YOUNGMAN, A. **Green Roofs: A guide to their design and installation**. Ramsbury: The Crowood Press Ltd, v. I, 2011.

ZHANG, P. *et al.* **Potential Drivers of Urban Heat Islands in the Northeast USA**. AGU Conference. São Francisco, Califórnia, EUA: [s.n.]. 2010.

ZHANG, P. *et al.*; LONDON, K. Sustainable Development of Construction Industry: the China Case. **Advanced Materials Research**, v. 622-623, p. 1701-1705, 2012.

ZHANG, X. *et al.* Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 314-319, 2012.

ZINCO. **System Solutions for Extensive Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 16. 2012a.

ZINCO. **System Solutions for Intensive Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 16. 2012b.

ZINCO. **Planning Guide: Systems for Pitched Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 18. 2013.

ZINCO. **Roofs with a future: Urban rooftop farming**. Nürtingen, Germany, p. 4. 2014.

ZINCO. **Planning Guide: Solar Energy and Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 8. 2014b.

ZINCO. **General information about our company**. Nürtingen, Germany. 2017.

ZINCO. **Planning Guide: System Solutions for Intensive Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 20. 2018.

ZINCO. **Planning Guide: System Solutions for Intensive Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 20. 2018a.

ZINCO. **Planning Guide: System Solutions for Extensive Green Roofs**. Nürtingen, Germany, p. 16. 2018b.

ZINCO. **Planning Guide: System Solutions for Thriving Green Roof**. Nürtingen, Germany, p. 40. 2018c.

ZINCO. **Planning Guide: Green Roof Basics**. Nürtingen, Germany, p. 32. 2019.

ZIRKELBACH, D. et al. A hygrothermal green roof model to simulate moisture and energy performance of building components. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 79-91, 2017.

APÊNDICE A - Ficha 1: Caracterização do telhado verde

Ficha 1 preenchida – Edificação número 1

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 1			
CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO			
TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°
CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE			
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO: 2012		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2015		
IDADE	5 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	599 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input checked="" type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input checked="" type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL
OBSERVAÇÕES			
Captação, armazenamento e uso das águas pluviais. Sensor de umidade. Irrigação automatizada, 2 vezes ao dia.			
Há espécies de árvores frutíferas como goiabeira, pitangueira, aceroleira e jabuticabeira, porém de porte pequeno.			
Altura das árvores é limitada pela espessura do substrato que é de 50 cm. Adubação anual. Manutenção semanal.			
REGISTRO FOTOGRÁFICO			
			

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 2

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 2**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

LOCAL	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO: 2011		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2015		
IDADE	5 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input checked="" type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input checked="" type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input checked="" type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input checked="" type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso das águas pluviais. Irrigação 2 vezes ao dia. Manutenção semanal. Adubação anual.

Dispositivos economizadores de água. Sensores de umidade e de temperatura. Irrigação automatizada.

Altura do substrato de até 80 cm. Inspeção e limpeza de sistemas de drenagem realizadas mensalmente.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 3

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 3**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 1996		
IDADE	24 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input checked="" type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input checked="" type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input checked="" type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso das águas pluviais. Irrigação 1 vez ao dia. A rega é feita manualmente.

Equipe de manutenção própria composta por dois colaboradores em tempo integral. Houve problemas de infiltração no decorrer dos anos que foram sanados pela equipe de manutenção. Podas e remoção de massa morta diariamente

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 4

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 4**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

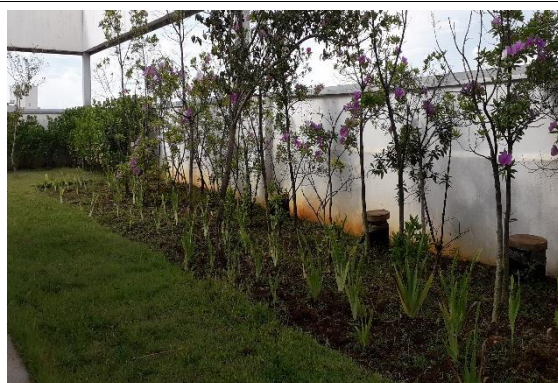
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORES
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉRMINO CONSTRUÇÃO: 2011		
IDADE	9 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input checked="" type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input checked="" type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso das águas pluviais. Irrigação 2 vezes ao dia. Adubação sempre que necessário.

Equipe de manutenção própria. Aplicação anual de inseticida e formicida. Esp. do substrato de 40 cm.

Houve um problema de infiltração coincidente no ponto de coleta de águas pluviais e sanado.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 5

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 5**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2018		
IDADE	2 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	364 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input checked="" type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input checked="" type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input checked="" type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Alto custo com irrigação. No momento está sendo implantado sistema de irrigação por gotejamento para redução de custo com água. Problemas de ressecamento de substrato e morte de vegetação por falha ou falta de rega.

Manutenção como poda, desbaste, retirada de massa morta, limpeza de ralos, são realizadas sempre que necessário

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 6

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 6**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

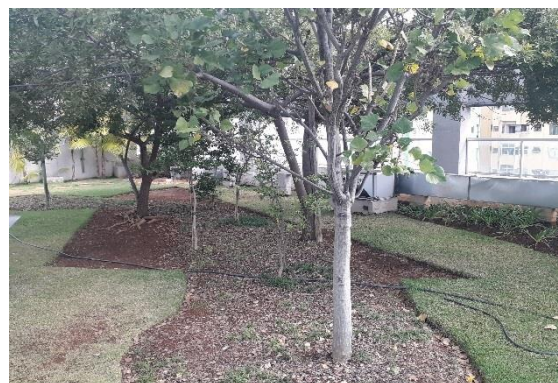
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2015		
IDADE	5 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	440 M ²	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input checked="" type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input checked="" type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input checked="" type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input checked="" type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input checked="" type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input checked="" type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso de águas pluviais. Irrigação 1 vez ao dia. Espessura do substrato de 80 cm.

Toda a manutenção é realizada por equipe terceirizada de 15 em 15 dias.

Há espécies vegetais do tipo frutíferas como aceroleira, pitangueira.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 7

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 7**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2017		
IDADE	3 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input checked="" type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input checked="" type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input checked="" type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input checked="" type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input checked="" type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso de águas pluviais. Dispositivos economizadores de água. Sensores de temperatura e umidade. Espessura do substrato de até 100 cm. Manutenção realizada por empresa terceirizada sempre que necessário. Há espécies vegetais do tipo frutíferas como aceroleira, pitangueira, amoreira e jabuticabeira.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 8

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 8**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

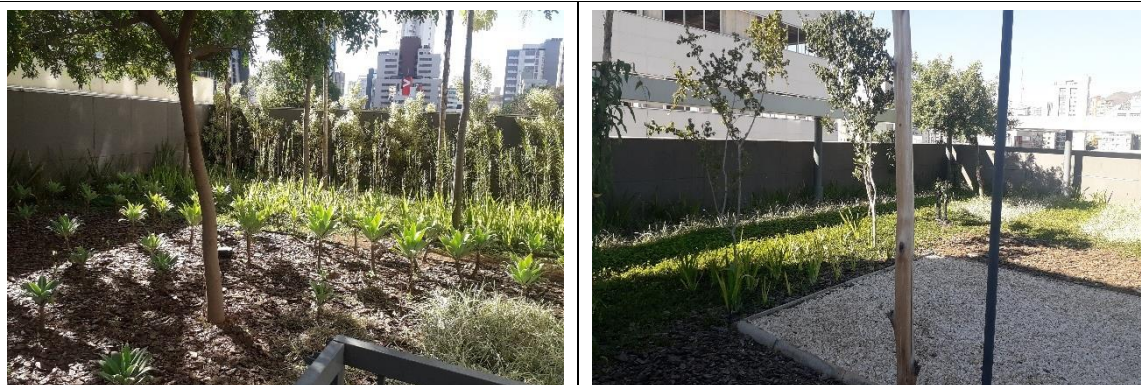
LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2017		
IDADE	3 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input checked="" type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input checked="" type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input checked="" type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso de águas pluviais. Dispositivos economizadores de água. Irrigação 2 vezes ao dia.

Espessura do substrato de até 80 cm. Manutenção realizada por equipe terceirizada 1 vez por semana.

Há espécies vegetais do tipo frutíferas como aceroleira, pitangueira, pessegueiro e jabuticabeira.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

FICHA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO TELHADO VERDE

Ficha 1 preenchida – Edificação número 9

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 9**CARACTERÍSTICAS DA VEDAÇÃO HORIZONTAL DA EDIFICAÇÃO**

TIPO	<input checked="" type="checkbox"/> LAJE	<input type="checkbox"/> TELHADO	
MATERIAL	<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO ARMADO	<input type="checkbox"/> MADEIRA	<input type="checkbox"/> METÁLICO
INCLINAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> MENOR QUE 5°	<input type="checkbox"/> ENTRE 5° E 15°	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 15°

CARACTERÍSTICAS DO TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
	<input checked="" type="checkbox"/> NA IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO		<input type="checkbox"/> POSTERIORMENTE
CONSTRUÍDO	INÍCIO CONSTRUÇÃO:		
	TÉMINO CONSTRUÇÃO: 2015		
IDADE	5 ANOS	<input checked="" type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
ÁREA	M ²	<input type="checkbox"/> EXATAMENTE	<input type="checkbox"/> APROXIMADAMENTE
TIPO	<input type="checkbox"/> EXTENSIVO	<input checked="" type="checkbox"/> SEMI-INTENSIVO	<input type="checkbox"/> INTENSIVO
ESPESSURA SUBSTRATO	<input type="checkbox"/> MENOR QUE 20 CM	<input checked="" type="checkbox"/> ENTRE 20 CM E 60	<input type="checkbox"/> MAIOR QUE 60 CM
POTEÇÃO ANTI RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ISOLAMENTO TÉRMICO	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ESPÉCIES VEGETAIS	<input type="checkbox"/> ÁRVORES	<input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTOS	<input checked="" type="checkbox"/> HERBÁCEAS
	<input checked="" type="checkbox"/> GRAMÍNEAS	<input checked="" type="checkbox"/> ESPÉCIES SEDUM	<input type="checkbox"/> MUSGOS
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> AUTOMÁTICO	<input type="checkbox"/> ACIONAMENTO MANUAL	<input type="checkbox"/> REGA MANUAL
USO DE ÁGUA PLUVIAL	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO INFORMADO
ACESSIBILIDADE	<input checked="" type="checkbox"/> TOTALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> PARCIALMENTE ACESSÍVEL	<input type="checkbox"/> INACESSÍVEL
UTILIZAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> CONVIVÊNCIA	<input type="checkbox"/> LAZER	<input type="checkbox"/> INUTILIZÁVEL

OBSERVAÇÕES

Captação, armazenamento e uso de águas pluviais. Dispositivos economizadores de água. Irrigação 2 vezes ao dia.

Espessura do substrato de até 40 cm. Manutenção realizada semanalmente por equipe terceirizada. Adubação

sempre que necessário. Há espécie vegetal do tipo frutífera como pitangueira. Irrigação realizada 2 vezes ao dia.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

* Item quando não especificado significa que não foi possível obter informações suficientemente seguras para a afirmativa.

APÊNDICE B - Ficha 2: Inspeção da edificação com telhado verde
Ficha 2 preenchida – Edificação número 1

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 1

DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO: 01 de outubro de 2018

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	---	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Compactação de substrato	20181001_092437
2	Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	20181001_092456
3	Manchas nuas	20181001_093428
4	Ressecamento de vegetação	20181001_095719
5	Ressecamento de substrato	20181001_101844
6	Abafamento do sistema de coleta de águas pluviais pela vegetação	20181001_094834
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação.	20181001_101951
2	Ausência de lastro de material granular no entorno dos sistemas de irrigação para impedir avanço da vegetação.	20181001_092905
3	Ausência de faixas de material granular, livres de vegetação, nos encontros de planos horizontais com paramentos verticais	20181001_095210
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 2

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 2**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 19 de fevereiro de 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	--	--------------------------------------	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Abafamento do sistema de coleta de águas pluviais pela vegetação	20190219_111343
2	Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	20190219_111330
3	Umidade ascendente ou por condensação	20190219_105252
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação.	20190219_111356
2	Ausência de lastro de material granular no entorno dos sistemas de irrigação para impedir avanço da vegetação.	20190219_111330
3	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190219_105318
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 3

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 3**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 19 de fevereiro de 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	---	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Manchas nuas	20190219_115429
2	Morte de vegetação	20190219_115426
3	Vegetação intrusa	20190219_115758
4	Umidade ascendente	20190219_115614
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação.	20190219_115503
2	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190219_114026
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 4

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 4**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 09 de abril de 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input checked="" type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	---	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Manchas nuas	20190219_152608
2	Morte de vegetação	20190219_152929
3	Umidade ascendente	20190219_152941
4	Fissura no encontro da manta de impermeabilização com a parede	20190219_153053
5	Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	20190219_152854
6	Avanço da vegetação nos sistemas de coleta de águas pluviais	20190219_152652
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação	20190219_152504
2	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190219_152945
3	Ausência de lastro de material granular no entorno dos sistemas de irrigação	20190219_152856
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 5

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 5**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 27 de junho de 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	--------------------------------------	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Morte de vegetação	20190627_114550
2	Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	20190627_113529
3	Avanço da vegetação nos sistemas de coleta de águas pluviais	20190627_113758
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação	20190627_113758
2	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190627_114340
3	Ausência de lastro de material granular no entorno dos sistemas de irrigação	20190627_113558
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 6

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 6**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 27 de junho de 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	--------------------------------------	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Manchas nuas	20190627_132326
2	Umidade ascendente e ou por condensação	20190627_131529
3	Fissura no encontro da manta de impermeabilização com a parede	20190627_131804
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de lastro de material granular no entorno das coletas de drenagem para impedir avanço da vegetação	20190627_131723
2	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190627_131534
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 7

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 7**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 02 de julho 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	---	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Manchas nuas	20190702_181507
2	Morte de vegetação	20190702_172058
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190702_181209
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 8

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 8**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 11 de julho 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	---	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Abafamento do sistema de coleta de águas pluviais pela vegetação	20190711_145029
2	Abafamento do sistema de irrigação pela vegetação	20190711_145626
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190711_145056
2	Ausência de lastro de material granular no entorno do sistema de coleta de águas pluviais	20190711_145029
3	Ausência de lastro de material granular no entorno do sistema de irrigação	20190711_145626
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

FICHA 2 - INSPEÇÃO DA EDIFICAÇÃO COM TELHADO VERDE

Ficha 2 preenchida – Edificação número 9

TELHADO VERDE NÚMERO (IDENTIFICAÇÃO): 9**DATA DA REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO:** 20 de agosto 2019**CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

NA DATA DA INSPEÇÃO	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NA SEMANA ANTERIOR	<input type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES
NO MÊS ANTERIOR	<input checked="" type="checkbox"/> ENSOLARADO	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVAS FRACAS	<input type="checkbox"/> CHUVAS FORTES

TELHADO VERDE

LOCAL	<input type="checkbox"/> NÍVEL INFERIOR	<input type="checkbox"/> NÍVEL MÉDIO	<input checked="" type="checkbox"/> COBERTURA
-------	---	--------------------------------------	---

CONSTATAÇÃO DE ANOMALIAS

IDENTIFICAÇÃO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Abafamento do sistema de coleta de águas pluviais pela vegetação	20190820_151614
2	Morte de vegetação	20190820_151254
3	Manchas nuas	20190820_151719
4	Umidade ascendente	20190820_151605
5	Umidade negativa	20190820_151406
6		
7		
8		
9		
10		

CONSTATAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PRÁTICAS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS RECOMENDADAS

IDENTIFICAÇÃO	NÃO CONFORMIDADE	Nº DO REG. FOTOGRÁFICO
1	Ausência de faixa de material granular, livre de vegetação no encontro dos planos horizontais com paramentos verticais	20190820_150859
2	Ausência de lastro de material granular no entorno do sistema de coleta de águas pluviais	20190820_151614
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		