

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

DIOGO PEDRO APPEL DILLY

**TRATADO SOBRE O SISTEMA DE TELHADO VERDE EXTENSIVO PARA
COBERTURAS PLANAS EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

São Leopoldo

2016

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

DIOGO PEDRO APPEL DILLY

**TRATADO SOBRE O SISTEMA DE TELHADO VERDE EXTENSIVO PARA
COBERTURAS PLANAS EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura
Sustentável, linha da Edificação,
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
- UNISINOS, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arq. Urb. Roberta Krahe Edelweiss

**São Leopoldo
2016**

D578t

Dilly, Diogo Pedro Appel

Tratado sobre o sistema de telhado verde extensivo para coberturas planas em edificações de pequeno e médio porte / por Diogo Pedro Appel Dilly– 2016.

97 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2016.

“Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arq. Urb. Roberta Krahe Edelweiss.”

1. Arquitetura. 2. Telhado verde. 3. Edificações. I. Título.

CDU: 72.01

Catálogo na Publicação:
Bibliotecário Alessandro Dietrich - CRB 10/2338

Dedico este trabalho a minha família, por todo amor e apoio e por sempre me incentivar a ir além.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha orientadora, Prof. Dr. Roberta Krahe Edelweiss, por acreditar neste trabalho.

Agradeço ao meu tio Eng. Civil Carlos Renato Appel, pela primeira oportunidade de trabalho, que me colocou nos rumos da construção civil.

Agradeço aos meus tios Arq. Eduardo Klein e Márcia Appel Klein, por toda paciência e orientação, e também pelo primeiro livro sobre telhados verdes.

Agradeço ao querido amigo Arq. Horacio Ernesto Monteverde, pela disposição em ensinar e pela oportunidade de ver de perto o primeiro telhado verde e demonstrar suas funcionalidades.

Agradeço à minha orientadora da graduação, MSc. Vera Lúcia Dutra Marcarello, pelo incentivo e pela oportunidade do primeiro projeto de telhado verde nas aulas de Atelier IV.

Agradeço ao meu grande amigo e sócio Eng. Civil Plinio Souza Schneider, pela confiança, parceria e pela oportunidade de projetar e executar nosso primeiro telhado verde.

RESUMO

A humanidade vem esgotando os recursos naturais numa velocidade sem precedentes e a indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis. As práticas sustentáveis existem para direcionar e influenciar projetos, materiais, sistemas e tecnologias para que se tornem ecologicamente corretos, socialmente justos e economicamente viáveis. O telhado verde surge como uma solução projetual de extrema expressão junto aos conceitos de desenvolvimento sustentável.

Considerando a falta de material técnico, o presente trabalho pode ser apresentado como uma forma de reunir as características deste sistema em um documento em forma de tratado, que expõe de forma didática um ou vários assuntos a respeito de uma ciência. Este estudo trata do sistema de Telhado Verde Extensivo em lajes planas com foco em edificações de pequeno e médio porte. A pesquisa foi elaborada em três partes: contextualização histórica - compreendendo o telhado verde como um elemento milenar mas com novos usos - tipos de telhado verde e composição do sistema - elencando o telhado verde extensivo como objeto da pesquisa - e características do sistema – explanando sobre os benefícios do telhado verde junto as práticas sustentáveis.

A escolha do tipo de telhado verde entre "tradicional" e "laminar" pode ter maior influência no dimensionamento das estruturas, assim como a escolha do tipo de substrato e vegetação. A vegetação também depende da utilização prevista para o telhado verde, sendo a grama o tipo mais comum para se ganhar área útil.

O telhado verde pode ser considerado um sistema sustentável, pois, pode colaborar no gerenciamento de águas pluviais absorvendo parte da água no próprio sistema, graças à vegetação, substrato e camada drenante. A vegetação do sistema também pode colaborar para mitigar os efeitos de ilhas de calor, diminuindo as temperaturas ao seu redor e melhorando a circulação de ar nas cidades. A temperatura também pode ser mais facilmente controlada pelo sistema de telhado verde, que funciona como um excelente isolante térmico, não deixando o calor entrar na edificação durante o verão e segurando o calor dentro da edificação no inverno. Essa característica faz com que os gastos com energia sejam consideravelmente menores. Alguns países, inclusive o Brasil, têm posto o sistema em evidência e já consideram a utilização do telhado verde de extrema importância.

ABSTRACT

Humanity has been depleting natural resources at an unprecedented speed being the construction industry one of the biggest responsible for it. Sustainable practices exist to direct and influence projects, materials, systems and technologies so that they become ecologically correct, socially just, and economically viable. The green roof appears as a project solution of extreme expression next to the concepts of sustainable development.

Considering the lack of technical material, the present work could be stated as a way to bring the characteristics of this system into a document in the form of a treaty, that lecture one or more subjects in a didactic way about an specific science. This study deals with the Extensive Green Roof system in flat roof covers for small and medium size buildings. The research was elaborated in three parts: historical contextualization - understanding the green roof as being an ancient element in architecture with new uses – green roof types and components: listing the Extensive Green Roof as the object of the research – and the characteristics of the green roof system: explaining the system benefits along with sustainable practices.

The choice of the green roof type between "traditional" and "laminar" may have a greater influence on the design of the structures, as well as the choice of substrate and vegetation type. The vegetation also depends on the intended use for the green roof, with grass being the most common type to gain floor area.

The green roof can be considered a sustainable system because it can collaborate in the management of rainwater by absorbing part of the water in the system itself, due to the vegetation, substrate and draining layer. The vegetation of the system can also help mitigate the effects of heat islands, reducing temperatures around them and improving air circulation in urbanized areas. The temperature can also be more easily controlled by the green roof system, which works as an excellent thermal insulation, not letting the heat enter the building during the summer and holding the heat inside the building in the winter. This makes energy expenditures considerably smaller. Some countries, including Brazil, consider the use of the green roof system as being of extreme importance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparativo de escoamento de água pluvial	64
Tabela 02 - Temperatura interna em edificação com diferentes tipos de cobertura .	69
Tabela 03 - Componentes do Sistema de Telhado Verde	86
Tabela 04 - Benefícios do Sistema de Telhado Verde.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 001 - Os Três Pilares do Desenvolvimento Sustentável.....	14
Figura 002 - Metodologia da Pesquisa.....	24
Figura 003 - Possível Linha Cronológica das Coberturas Vegetadas	25
Figura 004 - Jardins Suspensos da Babilônia	26
Figura 005 – Bryn Celli Ddu – Anglesey, País de Gales	27
Figura 006 - Newgrange – Meath, Irlanda	27
Figura 007 - Necrópolis de Banditaccia – Cerverteri, Itália	27
Figura 008 - Mausoléu de Augusto – Roma, Itália	27
Figura 009 - Ilustração do Mausoléu de Adriano – Roma, Itália	27
Figura 010 - Tumba Caecilia Metella – Roma, Itália	27
Figura 011 - Torre Guinigi – Lucca, Itália	28
Figura 012 - Palácio Piccolomini – Pienza, Itália	28
Figura 013 – Skara Brae - Ilhas Orkney, Escócia	29
Figura 014 - Casa Cova - Yandong, China	29
Figura 015 - Grubenhau - Burdei, Ucrânia	29
Figura 016 - Casa Viking - Suécia	29
Figura 017 - Vivenda Hehe - Tanzânia	29
Figura 018 - Casa Indígena Brasileira - Aldeia Matokodakwa Enawé - Nawé.....	30
Figura 019 - Morada das Almas - Casa de Pau a Pique	30
Figura 020 - Casa Enxaimel Antiga - Serra Gaúcha	30
Figura 021 - Expansão do território urbano durante a Revolução Industrial - Inglaterra	31
Figura 022 - Esquema dos 5 Pontos de Le Corbusier	33
Figura 023 - Vila Savoye - França	34
Figura 024 - Terraço Jardim da Vila Savoye de Le Corbusier - França	34
Figura 025 - Ministério de Educação e Saúde - Rio de Janeiro	35

Figura 026 - Ministério de Educação e Saúde - Rio de Janeiro	35
Figura 027 - Telhado Verde PLU - Berlin, Alemanha	36
Figura 028 - Telhado verde da Geno Haus - Stuttgart, Alemanha	36
Figura 029 - Bikini Berlin - Terraço com telhado verde extensivo - Berlin, Alemanha	36
Figura 030 - John Bakken Sod House - Dakota do Norte.....	37
Figura 031 - Cabanas Típicas Escandinavas - Noruega	37
Figura 032 - Academia de Ciências da Califórnia - São Francisco, EUA	37
Figura 033 - Telhado verde da prefeitura de Toronto - Toronto, Canadá	37
Figura 034 - Nanyang Technological Univestity – School of Art, Design and Media – Singapura.....	37
Figura 035 - Hotel Forum Homini – Berço da Humanidade, África do Sul	37
Figura 036 - The Cloak – Aeroporto Internacional de Auckland – Nova Zelândia ...	38
Figura 037 - Casa 34 – Lago Rupanco, X Región, Chile	38
Figura 038 - Unité d'habitation de Marseille (1952) - França	39
Figura 039 - Sede do SEBRAE - Brasília	39
Figura 040 - Casa Grelha, FGMF Arquitetos - Serra da Mantiqueira, SP	39
Figura 041 - MM House, Studio MK27 - Bragança Paulista, SP	39
Figura 042 - Multipalco ao lado do Teatro São Pedro - Porto Alegre, RS	40
Figura 043 - Minimod, MAPA Architects - Maquiné, RS	40
Figura 044 - Banca de Jornal com sistema Hidromodular da Ecotelhado - Canoas, RS	40
Figura 045 - Residência CB - BuildingUP Eng. & Arq. - Ivoti, RS	40
Figura 046 - Comparação entre os telhados verde extensivo e intensivo	44
Figura 047 - Possível composição de uma cobertura vegetada.....	45
Figura 048 - Telhado Verde Extensivo Laminar	46
Figura 049 - Telhado Verde Extensivo Laminar	46
Figura 050 - Imagem da Manta Asfáltica.....	48

Figura 051 - Aplicação de Manta Asfáltica	48
Figura 052 - Imagem da Geomembrana	49
Figura 053 - Aplicação da manta de PEAD	49
Figura 054 - Aplicação da manta de PVC	49
Figura 055 - Aplicação da manta de EPDM	49
Figura 056 - Aplicação da membrana fluída	49
Figura 057 - Formas de instalação da impermeabilização na cobertura	50
Figura 058 - Camada de Proteção Mecânica	51
Figura 059 - Manta Têxtil.....	52
Figura 060 - Manta Termo - Plástica	52
Figura 061 - Camada drenante de Argila Expandida.....	53
Figura 062 - Instalação de Módulos Plásticos de Drenagem.....	53
Figura 063 - Manta da Camada Filtrante	55
Figura 064 - Preparação do Substrato sob a Camada Filtrante	55
Figura 065 - Raízes plantadas diretamente na camada filtrante	56
Figura 066 - Suculentas	58
Figura 067 - Dianthus	58
Figura 068 - Asteraceae	58
Figura 069 - Grama Ornamental - Grama Preta.....	58
Figura 070 - Aspensor.....	60
Figura 071 - Gotejamento.....	60
Figura 072 - Capilaridade	60
Figura 073 - Bordas periféricas de um telhado verde.....	61
Figura 074 - Esquema Comparativo do escoamento de Águas Pluviais entre Telhado Verde e Telhado Tradicional	65
Figura 075 – Variação térmica de diferentes tipos de cobertura	68

Figura 076 - Esquema Comparativo da Sobrecarga Térmica entre um Telhado Verde e um Telhado Tradicional	70
Figura 077 - Telhado Verde da Hermes - Paris, França	74
Figura 078 - Centro Comercial de Beaugrenelle - Paris, França	74
Figura 079 - Big 8 Windswept House - Copenhagen, Dinamarca	75
Figura 080 - Tivoli Hotel - Copenhagen, Dinamarca.....	75
Figura 081 - Cobertura Vegetada na Faculdade de Direito da Universidade de Buenos Aires - Buenos.....	75
Figura 082 - Empresarial Charles Darwin - Recife, PE.....	76
Figura 083 - Núcleo SENAI de Sustentabilidade - Curitiba, PR.....	76
Figura 084 - Edifício Matarazzo, sede da Prefeitura - São Paulo, SP	77
Figura 085 - Edifício Gazeta na Av. Paulista - São Paulo, SP	77
Figura 086 - Garden House – La Estadía, México.....	78
Figura 087 – Outrial House – Ksiazzenice, Polônia	78
Figura 088 – Outrial House – Ksiazzenice, Polônia	78
Figura 089 - Casa Grelha, FGMF Arquitetos - Serra da Mantiqueira, SP	78
Figura 090 - Casa na Mata, Studio MK27 - Guarujá, SP	78
Figura 091 – Lookout House – Guayllabamba, Equador.....	79
Figura 092 – Lookout House – Guayllabamba, Equador.....	79
Figura 093 – Hypar Pavilion at Lincon Center – Nova York, EUA	79
Figura 094 - Sky Garden House – Ilha Sentosa, Singapura.....	79
Figura 095 - Brooks Avenue House – Venice, Califórnia, USA	79
Figura 096 - Academia de Ciências da Califórnia - São Francisco, EUA	79
Figura 097 - Nanyang Technological Univestity – School of Art, Design and Media – Singapura	79
Figura 098 - Telhados verdes extensivos - "tradicional" e "laminar".....	82
Figura 099 - Possível composição de uma cobertura vegetada.....	83
Figura 100 - Benefícios do Sistema de Telhado Verde	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA	17
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 Objetivo Geral.....	20
1.2.2 Objetivo Específico.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	21
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	23
2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DAS COBERTURAS VEGETADAS E O SEU APARECIMENTO NO BRASIL	25
3 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS, MATERIALIDADE, IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS TELHADOS VERDES	41
3.1 Em Busca de Uma Classificação para as Coberturas Vegetadas	42
3.1.1 Telhado Verde Intensivo.....	43
3.1.2 Telhado Verde Semi - Intensivo	43
3.1.3 Telhado Verde Extensivo	43
3.2 Possível Composição dos Telhados Verdes.....	44
3.2.1 Impermeabilização e Infiltrações	46
3.2.2 Proteção Mecânica e Proteção Anti - Raiz	51
3.2.3 Sistema de Drenagem.....	53
3.2.4 Camada Filtrante	54
3.2.5 Substrato	55
3.2.6 Vegetação, Irrigação e Podas	56
4 AS PROPRIEDADES DO SISTEMA DE TELhado VERDE EXTENSIVO E OS ATRIBUTOS GERAIS INTEGRADOS À SUA IMPLANTAÇÃO	62
4.1 Características do Sistema de Telhado Verde Extensivo	62
4.1.1 Gerenciamento de Águas Pluviais.....	62
4.1.2 Durabilidade do Sistema	65

4.1.3 Influências na Estrutura da Edificação	66
4.1.4 Impactos no Consumo Energético e Desempenho Térmico	67
4.1.5 Desempenho Acústico.....	70
4.1.6 Ecossistemas Integrados	70
4.1.7 Ilhas de Calor	71
4.2 Telhado Verde e os Pilares da Sustentabilidade	72
4.2.1 Tendências, Desafios e Possibilidades	73
5 RESULTADOS.....	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
BIBLIOGRAFIA	93

INTRODUÇÃO

Muito se argumenta sobre a possível escassez de recursos naturais, em grande parte devido à atual onda de consumismo desenfreado. A falta de água potável, mudanças climáticas, diminuição dos recursos naturais e da biodiversidade, desperdícios e malefícios à saúde humana vêm aumentando exponencialmente (MOXON, 2012). Esta privação dos bens comuns da humanidade poderá afetar todos os setores e deverá causar um colapso na economia mundial.

A indústria da construção civil é responsável por grande parte dos recursos naturais consumidos e é produtora de uma considerável parcela de resíduos gerados através das suas atividades. Segundo Edwards (2013) 50% dos recursos mundiais são consumidos pela construção civil, tornando esta atividade uma das menos sustentáveis do planeta. Os recursos naturais estão sendo consumidos mais rapidamente do que podem ser recuperados pela natureza. Alguns recursos, como rochas e combustíveis fósseis, levam milênios para serem recompostos. Além do mais, Moxon (2012) conta que muitos dos nossos métodos de produção geram uma grande quantidade de desperdícios, assim como o consumismo desenfreado. Os resíduos provenientes deste desperdício são geralmente alocados em aterros sanitários onde liberam uma série de poluentes, inclusive gases de efeito estufa, no solo, na água e na atmosfera. Se levarmos em consideração a longa vida útil de uma edificação, é de extrema importância investir em tecnologias ecológicas cujos benefícios deverão ser explorados em longo prazo (EDWARDS, 2013).

As alterações climáticas são, por vezes, referidas como aquecimento global. Segundo Moxon (2012) esta pode ser a questão ambiental mais alarmante a qual estamos enfrentando. As atividades humanas - a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos e decomposição de lixo em aterros sanitários - vêm produzindo excessivos gases de efeito estufa, dióxido de carbono e metano. O efeito estufa é um fenômeno natural dos gases - vapores de água, metano e dióxido de carbono - no qual os gases absorvem a radiação da superfície do planeta e mantêm a atmosfera a uma temperatura morna e o planeta apto a ser habitado. Entretanto, o excesso de gases gera uma camada espessa causando aquecimento acima do normal que afeta os padrões climáticos naturais.

A água é um recurso bastante afetado por padrões climáticos. A escassez desse elemento é um problema de âmbito internacional. A água é utilizada na

indústria, na pecuária, agricultura e para a produção de energia, além de ser indispensável para a própria existência humana. A população mundial esta cada vez consumindo mais água. Além de existir um grande desperdício deste recurso, a energia associada ao tratamento e abastecimento de águas potáveis contribui para a emissão de gases formadores do efeito estufa e com ele, as mudanças climáticas.

As questões supracitadas, e outras associadas à intervenção humana na natureza, devem ser abordadas e, de alguma forma, solucionadas. O conceito de sustentabilidade surgiu na Europa, entre as décadas de 70 e 80, expressando uma preocupação com o modelo econômico dos países industrializados e as altas quantidades de recursos naturais não renováveis que estavam sendo consumidos sem nenhum tipo de controle ou regulamentação. De acordo com Brundtland (1987) podemos definir o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer os recursos gerais para as gerações futuras. Para que possamos nos prevenir da possível existência de um futuro sem recursos devemos nos tornar mais sustentáveis em todas as nossas ações cotidianas e ir além.

Uma questão que eventualmente pode se tornar um desafio é a de como pôr em prática os conceitos de sustentabilidade. Para tornar as ações mais palpáveis é possível delinear algumas diretrizes. Primeiramente, a ideia de desenvolvimento sustentável pode ser dividida em três principais pilares: social, econômico e ambiental. Para que exista desenvolvimento sustentável os três pilares devem coexistir e interagir entre si em harmonia. Os três pilares que guiam os conceitos de sustentabilidade foram, num primeiro momento, apresentados durante a RIO 92, uma conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente (GAUZIN-MÜLLER) e podem ser compreendidos através da Figura 001.

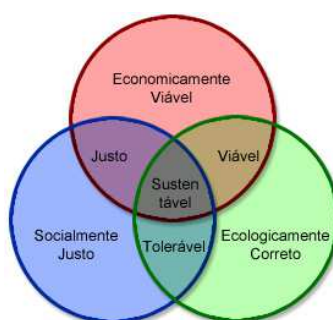


Figura 001 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável

Fonte: Internet (http://www.desajustado.org/wp-content/uploads/2011/12/sust_dia1.jpg)

O âmbito social é referente ao elemento humano que está direta ou indiretamente ligado a um empreendimento, sociedade ou comunidade. Trata o capital humano como o agente criador de ferramentas que ajudem a melhorar a qualidade de vida da população, a elaboração de leis de amparo às necessidades dos cidadãos e o desenvolvimento de políticas de melhoramento nos mais variados segmentos da sociedade. Este pilar é muito importante na indústria da construção civil por ser um agente formador e fomentador das práticas sustentáveis.

A esfera econômica pode ser definida como o pilar da dos valores de troca. Economia não apenas no significado de dinheiro, mas a gestão de recursos gerais. A esfera econômica é a responsável pelos temas ligados a produção, distribuição e consumo dos recursos e serviços e deve estar firmemente apoiada nos outros dois aspectos. Na construção civil a gestão dos recursos é de extrema importância para que os mesmos sejam consumidos com consciência, conforme as políticas públicas de sustentabilidade.

O pilar ambiental pode ser definido como a constante busca da preservação do meio ambiente, o uso consciente dos recursos naturais e a diminuição do desperdício de materiais. Este pilar está diretamente conectado ao capital natural de um empreendimento ou sociedade. No contexto da construção civil este pilar busca compreender as melhores formas de se desenvolver projetos com o menor impacto ambiental e encontrar alternativas mais responsáveis para estas práticas. Quando os conceitos supracitados são transpostos para a construção civil, temos uma série de materiais e tecnologias sustentáveis. Então, para que os conceitos de desenvolvimento sustentável possam ser postos em prática na construção civil, se faz necessário colocar sob uma nova ótica as tecnologias e sistemas atualmente utilizados e, gradualmente, incorporar elementos, sistemas, materiais e tecnologias que expressem uma maior preocupação com as políticas públicas de sustentabilidade.

O telhado verde é uma tecnologia passiva, podendo ser considerada *low-tech*. A tecnologia *low-tech* baseia no uso de materiais naturais e de baixo impacto ambiental (GAUZIN-MÜLLER, 2011). Este documento deverá pesquisar e trazer argumentos que sustentem que o sistema de telhado verde pode se apresentar como uma tecnologia portadora de grande adaptabilidade dentro das práticas de

desenvolvimento sustentável. Existem vários tipos de telhado verde e uma série de denominações para cada variedade. O presente trabalho deverá documentar o telhado verde extensivo, escolhido por se tratar da variação mais versátil e mais amplamente aplicado na arquitetura atual (PINTO, 2014).

Muitos sistemas e materiais possuem dossiês e manuais técnicos muito bem documentados para expor suas características. Contudo, o telhado verde pode, ainda, ser considerado um sistema bastante inovador no Brasil, sem possuir uma gama variada de informações e documentação técnica. O presente documento tem suas origens firmadas na vontade de suprir uma carência de material técnico e instrutivo sobre o tema do telhado verde e uma falta de abrangência, por parte de outros trabalhos e documentos do mesmo assunto. O tratado, neste caso, é um tipo de documento formal no qual são abordados um ou mais argumentos com relação a uma temática específica. O *Tratado sobre telhados verdes extensivos para coberturas planas em edificações de pequeno e médio porte* é elaborado com o intuito de tornar evidentes as características deste sistema junto aos conceitos de sustentabilidade.

DEFINIÇÃO DO TEMA

Nosso Futuro Comum (OurCommon Future), segundo Rogers e Gumuchdjian (2015), foi o relatório das Nações Unidas que propôs o conceito de "desenvolvimento sustentável" como premissa para uma política econômica global. O objetivo do desenvolvimento econômico sustentável é deixar para as gerações futuras uma reserva de recursos naturais iguais ou maiores do que as atuais. Levando em consideração as atuais práticas envolvendo os conceitos de sustentabilidade, é possível observar uma necessidade de edificações sustentáveis com sistemas passivos. Segundo Roaf, Fuentes e Thomas (2007) precisamos nos proteger de um futuro sem recursos naturais. Para que tal façanha seja alcançada, se faz necessário atingir o nível de "Eco-sociedade" através de certas adaptações: - Reduzir as emissões até o ponto em que cada um seja responsável por uma quota particular de gases - estufa;

- Adaptar as edificações para que sejam habitáveis e consigam enfrentar qualquer tipo de crise climática.

- Aumentar a capacidade regenerativa das comunidades para garantir a continuidade da sociedade civilizada ao longo das mudanças vindouras.

Para começar a correção de nossa posição a bordo da grande nave, o planeta Terra, antes de mais nada, devemos reconhecer que a abundância dos recursos imediatamente consumíveis, inevitavelmente desejáveis ou absolutamente essenciais, até agora, foi suficiente para permitir que continuemos nossa jornada, apesar de nossa ignorância. Estes recursos, em última instância esgotáveis e dilapidáveis, foram adequados até este momento crítico. Aparentemente, essa espécie de amortecedor dos erros de sobrevivência e crescimento da humanidade foi alimentado, até agora, da mesma forma que um pássaro dentro do ovo se alimenta do líquido envoltório, necessário para uma etapa de seu desenvolvimento somente até certo ponto. (FULLER, 1969, apud ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2015, p. 02).

Mesmo que ainda existam incertezas científicas, vários indicadores nos levam a acreditar que o planeta está à beira de uma grande mudança climática. Segundo Rogers e Gumuchdjian (2015), essas mudanças estão sendo evidenciadas desde o início da revolução industrial e vem mostrando sinais de agravamento nos últimos anos. As mudanças, segundo os autores, poderão ocorrer de várias maneiras, tal como a alteração de índices pluviométricos e mudanças drásticas de temperatura.

Segundo Corbella e Cörner (2011) a cobertura é o elemento que mais protege a edificação das intempéries e da radiação solar. O bom desempenho térmico da cobertura é essencial para que o ambiente interno tenha qualidade e conforto. Devido à exposição solar, a cobertura é a principal responsável pelo adensamento da carga térmica em edificações com poucos pavimentos.

Sendo assim, Roaf, Fuentes e Thomas (2007) relatam que é possível proteger termicamente uma edificação utilizando o solo. Este tipo de edificação é construída visando uma estabilidade térmica, seja no frio ou calor. Este tipo de sistema demanda pouco consumo energético para resfriamento e aquecimento e as edificações são as que mais promovem a saúde da atmosfera global por produzirem baixas emissões de gás - estufa.

Ainda, levando em consideração o que relatam Roaf, Fuentes e Thomas (2007) as plantas modificam o ambiente das edificações. Isso pode ocorrer por meio de três processos:

- Fotossíntese, onde a planta transforma CO₂ e água em açúcares e oxigênio para seu próprio crescimento.
- Respiração, como processo oposto à fotossíntese, liberando CO₂ na atmosfera, disponibilizando energia para o metabolismo celular.
- Transpiração, no qual a planta perde água pela evaporação, transformando grandes quantidades de energia em calor latente, produzindo um efeito de resfriamento.

Conforme Rogers e Gumuchdjian (2015) o próximo problema a ser enfrentado pela população mundial será a escassez de alimentos. A demanda por água, a nível mundial, duplica a cada 20 anos. Os conflitos sobre a água estão entre os mais antigos na história da humanidade e isso pode se agravar de forma contundente no futuro. Roaf, Fuentes e Thomas (2007) relatam que existem quatro principais fatores para transformar a água fresca e potável em um dos produtos primários mais cobiçados do século XXI:

- o crescimento da população mundial;
- as mudanças climáticas;
- a crescente interferência do ser humano nos cursos naturais de água;
- a poluição.

O sistema de cobertura vegetal se apresenta como uma solução de cobertura eficiente em vários quesitos, principalmente no que diz respeito aos conceitos globais de ecologia e sustentabilidade (ROSSETI, 2013). Ugalde (2004) define os telhados verdes como coberturas de edificações com vegetação, utilizando plantas adaptadas as condições locais climáticas e de solo. Telhados verdes podem ser considerados sistemas *low-tech* com uma gama elevada de benefícios atribuídos a este elemento de cobertura.

Seguindo os preceitos de Snodgrass e McIntyre (2010) se faz necessária uma boa especificação dos detalhes técnicos envolvendo a técnica e os materiais utilizados pelo sistema. A instalação de um telhado verde requer especificação adequada e um bom entendimento dos componentes e de como cada parte do sistema funciona trabalhando em conjunto. A especificação de um telhado verde deve ser única para cada tipo de sistema, assim como seu detalhamento não deve estar sobrecarregado com informações irrelevantes.

As melhorias da qualidade do ar, o conforto térmico e o gerenciamento de águas pluviais são alguns dos atributos do sistema de telhado verde que podem ser vinculados aos conceitos de sustentabilidade do mundo atual. Com base no exposto, é possível entender o sistema de telhado verde como um importante instrumento para o desempenho sustentável das edificações e, conseqüentemente, vinculado ao desenvolvimento sustentável.

O presente documento deverá apresentar uma gama abrangente de aspectos do sistema de coberturas vegetadas com foco no telhado verde extensivo, mais comumente implantado em lajes planas e amplamente utilizado em edificações de pequeno e médio porte.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo elaborar um documento que evidencie, de forma abrangente e estruturada, o sistema de telhado verde extensivo e suas características, desde sua contextualização histórica, os componentes envolvendo seu sistema e os atributos relacionados a atual utilização. Acredita-se que o tratado pode, de maneira clara e sucinta, servir como instrumentos de orientação para a elaboração de material de divulgação e promoção da tecnologia de telhados verdes extensivos e, com isso, inteirar profissionais, construtores e clientes sobre os motivos pelos quais se deve optar por um telhado verde, uma possível forma de construção e execução e alguns dos principais benefícios intrínsecos a implantação deste sistema.

Objetivos Específicos

- contextualizar historicamente o sistema de telhado verde
- expor os componentes formadores do sistema de telhado verde extensivo
- relacionar os atributos do sistema de telhado verde com os conceitos de sustentabilidade.

JUSTIFICATIVA

Edwards (2013) relata que é possível reduzir a pressão sobre o meio ambiente através do uso de tecnologias mais inteligentes em sinergia com um maior respeito aos recursos naturais e a diminuição da exploração de recursos não renováveis. De acordo com o autor, existem ações para o projeto sustentável:

- Aplicar os princípios ecológicos desde o início;
- Evitar especificidades funcionais;
- Priorizar iluminação e ventilação naturais;
- Projetar visando à simplicidade operacional;
- Projetar visando à durabilidade;
- Maximizar o uso de energia renovável;
- Possibilitar a substituição das peças.

Considerando as diretrizes supracitadas, a implantação do sistema de telhados verdes se torna uma opção bastante cabível quanto aos conceitos de projeto arquitetônico sustentável. Além de uma reputação bastante positiva em relação as suas características de conforto térmico, existem ainda outros atributos relatados por inúmeros autores que podem ser creditados ao sistema de coberturas vegetadas. Entretanto, pouco material sobre os sistemas de coberturas vegetadas pode ser encontrado em português.

Os tratados são documentos bastante comuns na história da arquitetura, geralmente utilizados para dissertar sobre temas, técnicas e materiais. Eles resgatam valores do passado e traduzem uma preocupação com a história. Um tratado pode ser definido como uma obra que expõe de forma didática um ou vários assuntos a respeito de uma ciência, arte e etc. O dicionário Michaelis (2016), relata que um tratado pode ser uma obra desenvolvida, que expõe ordenadamente os princípios de uma ciência ou arte.

Segundo Pacheco (2005), o primeiro registro de um tratado de arquitetura foi escrito por Marcus Vitruvius Pollio (90 - 20 a.C.) a pedido do Imperador Júlio César. Segundo o autor, é possível afirmar que a maior parte do conhecimento teórico em arquitetura está apoiado no manual de Vitruvius, *De Architectura*, e seus três pilares: firmitas, utilitas e venustas, que representam solidez, utilidade e beleza, respectivamente. Quatorze séculos depois, o italiano Leon Battista Alberti (1404 -

1472), considerado o maior teórico da renascença, escreveu outro tratado sobre arquitetura, o *De Re Aedificatoria*. Este documento teve uma postura distinta de seu predecessor, pois não dava ênfase ao aspecto gráfico do tema e nem tão pouco continha ilustrações. Foi redigido mais para os interessados em desenvolver o intelecto nas disciplinas humanas do que para aqueles envolvidos com a construção de fato. Os tratados italianos da renascença são de grande importância, pois traduziam a forma de viver deste período.

O presente documento NÃO tem a intenção de detalhar os tópicos relacionados ao sistema de telhado verde, e SIM de fazer uma síntese estruturada dos principais itens envolvendo este sistema. Este trabalho busca elaborar um documento que evidencie, de forma abrangente e estruturada, o sistema de telhado verde extensivo e suas características, desde sua contextualização histórica, os componentes envolvendo seu sistema e os atributos relacionados à atual utilização. Esta pesquisa, então, deverá ser efetuada utilizando como objeto de estudo o telhado verde classificado como EXTENSIVO. Para tal, o primeiro tema a ser debatido será a história do telhado verde, tais quais os tratados renascentistas, este tópico deverá revelar aspectos da memória e os valores imbuídos neste sistema, o que se considera importante para a compreensão do sistema na atualidade. Então, deverão ser abordados os itens relativos às técnicas construtivas do sistema, seus componentes, seus possíveis usos e implantação. Para finalizar a análise, deverá ser efetuada uma pesquisa sobre os aspectos gerais envolvendo o sistema de telhado verde, expondo seus atributos e seu vínculo com os conceitos de sustentabilidade.

METODOLOGIA DA PESQUISA

O trabalho, a partir da carência de material, propõe a elaboração de uma síntese sobre o sistema de telhado verde. Tem como método a revisão de conceitos relacionados à *Contextualização Histórica das Coberturas Vegetadas e os caminhos que trouxeram o seu aparecimento no Brasil* - estruturada a partir da cronologia proposta por Chiarella e Ilari (2013) - a *contextualização ao cenário Brasileiro a partir de conceitos* relacionados ao surgimento do movimento moderno e sua *atribuição às novas tecnologias incorporadas aos sistemas construtivos*. Para tal o trabalho disserta sobre os três temas citados em capítulos a parte.

Após contextualizar historicamente o telhado verde, são definidos os seus tipos e a partir desta constatação, o telhado verde extensivo é escolhido como objeto de estudo. Os principais componentes do sistema de telhado verde - baseados nos estudos de Krebs (2005) e Heneine (2008) e nos manuais sobre telhado verde de Snodgrass e McIntyre (2010) e do Green Roof Guidelines (2014) - são separados em camadas: Impermeabilização, Proteção Mecânica, Proteção Anti - Raiz, Sistema de Drenagem, Camada Filtrante, Substrato e Vegetação. Por fim, são revisados textos e artigos relacionando as características e os benefícios do telhado verde aos conceitos de desenvolvimento sustentável.

Ao final, os resultados encontrados, elaborados e sintetizados a partir da revisão sobre os componentes do sistema, podem ser apresentados como um tópico de instrução de instalação do sistema de telhado verde. A análise das características do sistema formam um resumo dos principais motivos que levam o projetista e o cliente a optar pela instalação do sistema de telhado verde extensivo.

A metodologia da presente pesquisa pode ser compreendida a partir da Figura 002.

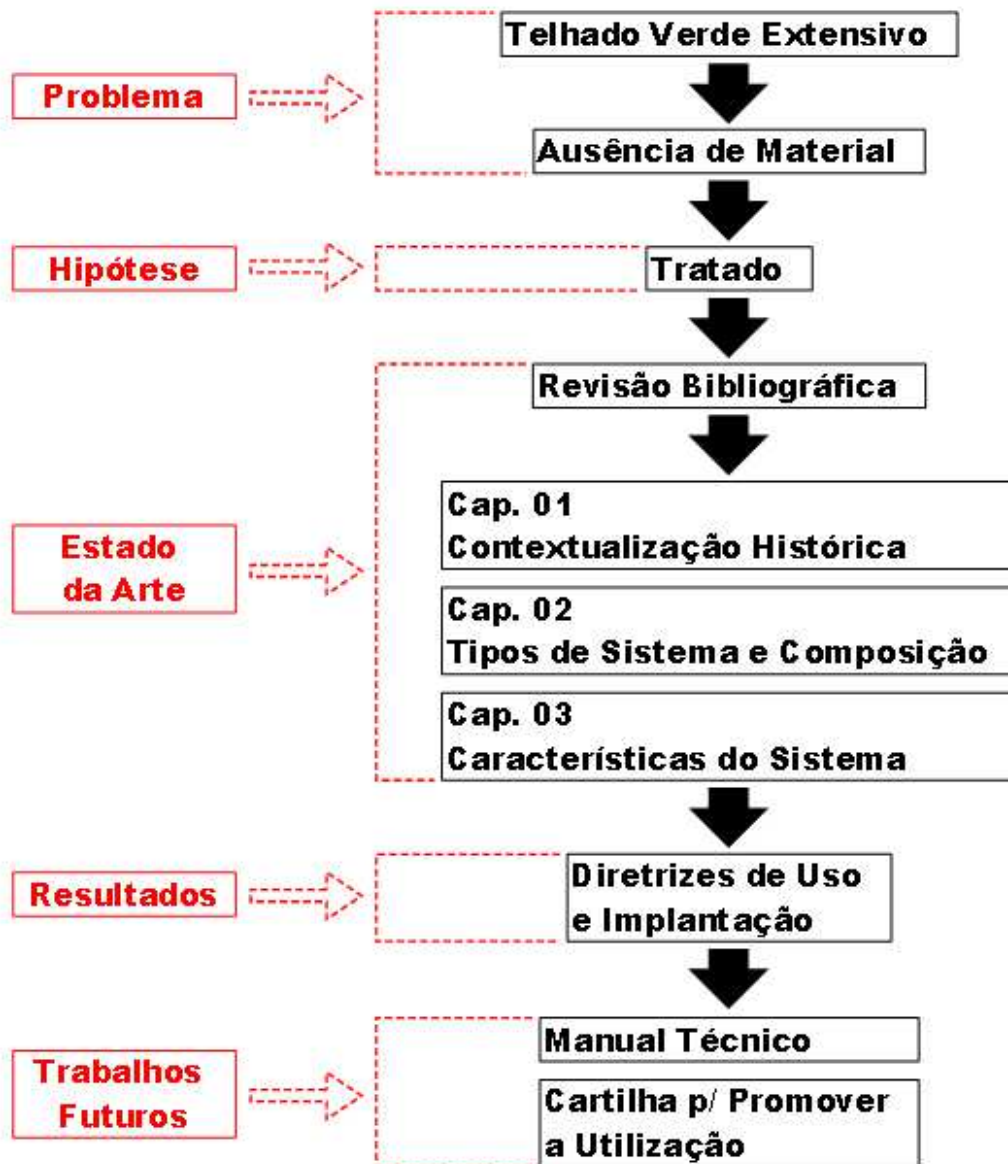


Figura 002 – Metodologia da Pesquisa
Fonte: Autor

2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DAS COBERTURAS VEGETADAS E SEU APARECIMENTO NO BRASIL

Segundo Rogers e Gumuchdjan (2015) a arquitetura surgiu a partir das necessidades dos seres humanos por abrigo. Em uma analogia bastante acertada, Roaf, Fuentes e Thomas (2007) vão além e tratam as edificações como a nossa "terceira pele".

Atualmente muito se comenta sobre a política de sustentabilidade e os benefícios da sua implantação. A arquitetura é um grande expoente na divulgação e prática destes conceitos, utilizando técnicas construtivas que possibilitem a transformação do entorno e a conscientização dos usuários. Nem todas estas tecnologias são necessariamente novas, principalmente as passivas, que não necessitam de intervenção mecânica. O telhado verde, hoje muito comentado mas pouco difundido no Brasil, é uma técnica milenar.

Na pesquisa elaborada por Chiarella e Ilari (2013), é traçada uma provável linha cronológica do sistema de coberturas vegetadas. É possível compreender que o sistema aparece em vários períodos da história das construções, como apresentado na Figura 003. Levando em consideração o contexto, é imprescindível estender a pesquisa e discorrer sobre o aparecimento do telhado verde em solo Brasileiro. Este item complementa a pesquisa e contextualizam o sistema de coberturas vegetadas para o entorno imediato ao trabalho.

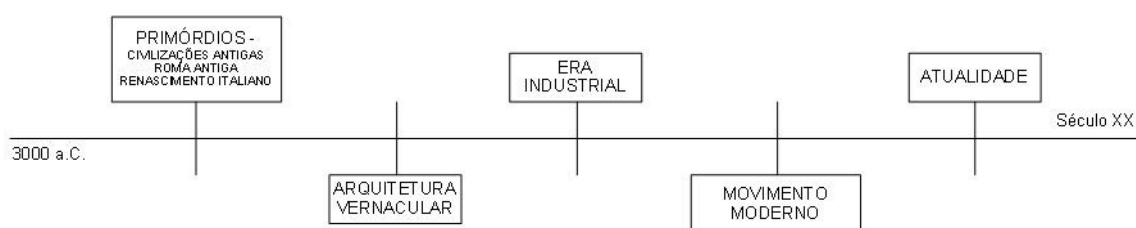


Figura 003 – Possível Linha Cronológica das Coberturas Vegetadas
Fonte: Autor

A origem das coberturas vegetadas não está tão claramente documentada. Registros nos mostram que esta técnica surgiu a milênios. Civilizações antigas, como os romanos e as dos vales dos rios Tigre e Eufrates já utilizavam jardins ornamentais nas coberturas das edificações. Segundo Osmundson (1999) o exemplo mais famoso

de telhado verde seriam os Jardins Suspensos da Babilônia. Em algum período do século II a.C., Antípatro de Sídon escreveu um poema sobre as sete maravilhas do mundo. Segundo o poeta, estas eram obras arquitetônicas magnânimas que atraíam visitantes de todas as partes do mundo antigo. Das sete maravilhas do mundo antigo, a mais famosa e única remanescente é a Pirâmide de Quéops. Os Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 004) são menos conhecidos, mas é possível que tenham sido construídos por volta de 600 a.C., as margens do rio Eufrates, na Mesopotâmia - atual sul do Iraque. Este monumento era composto por seis montanhas artificialmente construídas com tijolos de barro cozido, com terraços sobrepostos nos quais árvores e flores seriam plantadas. Os jardins foram construídos próximos ao palácio do rei Nabucodonossor II, em homenagem a sua esposa.



Figura 004 – Jardins Suspensos da Babilônia

Fonte: Internet (<http://www.genizahvirtual.com/2013/05/jardins-suspensos-da-babilonia-seriam.html>)

Com o desenvolvimento do comércio e o crescimento das rotas mercantes, foram descobertos vestígios de outros povos esquecidos. Entre cidades perdidas na selva, templos e tumbas de nobres, outros tipos de monumentos foram descobertos. É possível notar o telhado verde como parte da arquitetura funerária, fazendo papel de elemento construtivo, desde a Coreia até antigos jazigos celtas na Irlanda e País de Gales. Algumas destas construções eram grandes salões de pedra bruta cobertos com vegetação, outros eram apenas túneis escavados em encostas de colinas (Figura 005). Na Itália o telhado verde também aparece de forma contundente em tubas e outros monumentos funerários (Figuras 006, 007, 008, 009 e 010) (CHIARELLA & ILARI, 2013).



Figura 005 – BrynCelliDdu – Anglesey, País de Gales

Fonte: Internet (www.ancient-origins.net)

Figura 006 – Newgrange – Meath, Irlanda

Fonte: Internet (www.media.web.britannica.com)

Figura 007 – Necrópolis de Banditaccia – Cerverteri, Itália

Fonte: Internet (www.classconnection.s3.amazonaws.com)



Figura 008 – Mausoléu de Augusto – Roma, Itália

Fonte: Internet (www.estaticos.elmundo.es)

Figura 009 – Ilustração do Mausoléu de Adriano – Roma, Itália

Fonte: Internet (www.venalmundoclasico.com)

Figura 010 – Tumba CaeciliaMetella – Roma, Itália

Fonte: Internet (www.ruggeroarena.com)

Segundo Benevolo (1976) a arquitetura, juntamente com a pintura e a escultura, formam a tríade das artes maiores. Durante o Renascimento Italiano o telhado verde começa a aparecer em uma arquitetura mais monumental como torres (Figura 011) e palácios (Figura 012). Com o passar do tempo, com o desenvolvimento de novas técnicas e materiais, e possivelmente pelo êxodo rural, acontece uma desconexão do povo com a terra e a agricultura e as coberturas vegetais deixam de ser utilizadas para cobertura de monumentos e túmulos abrindo espaço para materiais mais nobres como pedras e mármore. O telhado verde só voltaria a aparecer de forma mais relevante na arquitetura no início do século XX, através dos projetos de grandes mestres como Le Corbusier, Walter Gropius e Frank Lloyd Wright.



Figura 011 – Torre Guinigi – Lucca, Itália

Fonte: Internet (www.kuriositas.com)

Figura 012 – Palácio Piccolomini – Pienza, Itália

Fonte: Internet (www.suisentieridellostupore.files.wordpress.com)

Ao mesmo tempo em que faz algumas aparições em construções de maior porte e significância, a cobertura vegetada também se manifesta na arquitetura recorrente de diversas épocas. De forma mais tímida e ordinária este elemento constitui técnica e prática da arquitetura vernacular e também surge nos registros da idade média, principalmente na Europa. Neste contexto, sua principal função era servir como instrumento de uso prático para a vida cotidiana, sendo o telhado verde utilizado principalmente para o plantio de hortaliças e como captador de águas pluviais (SAVI,2012).

Segundo Marques, Azuma e Soares (2009) arquitetura vernacular é aquela na qual se empregam materiais e recursos do entorno da edificação definindo uma tipologia arquitetônica de caráter local ou regional. Esta deve ser uma arquitetura livre de estilos arquitetônicos e deve ser compreendida como uma arquitetura anônima, diferenciando-se geograficamente por expressão e cultura e tendo como referência a tradição e a sabedoria popular. Atualmente o termo “arquitetura vernacular” também pode estar relacionado a casas auto-construídas, devido a sua espontaneidade e singularidade (KOWALTOWSKI, WATRIN & SORRIBAS - 2001). Este é o conceito explicado por Stroeter (1986), que diz que a arquitetura vernacular é aquela construída sem arquitetos e, que mesmo sem conhecimento acadêmico, apresentam enorme qualidade física e morfológica (Figuras 013, 014 e 015). É possível constatar o uso do telhado verde em edificações seculares em regiões de baixa temperatura como os países nórdicos (Figura 016) e, em locais com temperatura elevada como a Tanzânia (Figura 017), de forma que a cobertura vegetal desempenhe um importante papel como isolante térmico.



Figura 013 –SkaraBrae - Ilhas Orkney, Escócia
 Fonte: Internet (www.authors.library.caltech.edu)
 Figura 014 - Casa Cova - Yandong, China.
 Fonte: Internet (www.chinablog.cc)



Figura 015 - Grubehaus - Burdei, Ucrânia
 Fonte: Internet (www.earthhomesnow.com)
 Figura 015 - Casa Viking - Suécia
 Fonte: Internet (www.fotevikensmuseum.se)
 Figura 017 - Vivenda Hehe - Tanzânia
 Fonte: Internet (www.independenttravelcats.com)

No Brasil, a arquitetura vernacular está intrínseca na cultura de cada região. A madeira, por ser um elemento encontrado com facilidade, aparece de norte a sul nas mais variadas ocupações na esfera da construção. Segundo Bruand (1999) o Brasil nunca teve um grande favorecimento quando se trata dos materiais mais tradicionais da construção, pois a pedra sempre foi um elemento escasso. No entanto Segawa (1988) atribui o uso da madeira e do barro às construções mais rústicas e talvez menos "arquitetonicamente planejadas". Segundo o autor, na arquitetura moderna tais materiais seriam tratados ou como técnicas construtivas de cunho mais tradicional ou colonial, ou seriam desprezados como símbolos de subdesenvolvimento, primitivismo e pobreza (Figuras 018, 019 e 020). Porém, do seu ponto de vista escreve que os materiais da natureza, quando trabalhados com esmero, revelam o respeito e a sensibilidade de um povo com a natureza.

Madeira e terra: recursos oferecidos pela natureza, apropriados pelos homens para criar seus artefatos. Matérias que sugerem sistemas construtivos para erguer abrigos para as atividades humanas, técnicas que atestam a habilidade (ou a insensibilidade) humana em momentos, paisagens e necessidades de muitos matizes. Era a taipa de

mão que vedava a casa de fazenda do "homem bom" colonial e seu subordinado, "homem livre". O pau a pique feito pelo imigrante japonês e pelo sofrido sertanejo. A madeira permitiu ao imigrante alemão e italiano se abrigarem no Sul do país e que paramenta as margens de rios e igarapés amazônicos na forma de habitação do caboclo. Que ergue a casa provisória do colonizador e do minerador e a cada permanente do favelado belenense. Ricos e pobres, gente da cidade e do campo - num tempo não muito remoto (e ainda hoje) - compartilhavam da mesma taipa, do mesmo esqueleto de madeira, da mesma cantaria para albergarem suas intimidades. Decerto o rico construía espaços mais generosos e requintados. Mas nada como as reciclagens que se fazem hoje: a fôrma encarapinhada na confecção do concreto aparente reutilizada na choupana da favela. (Segawa, 1988, p. 34).



Figura 018 - Casa Indígena Brasileira - Aldeia MatokodakwaEnawé - Nawé

Fonte: Internet (www.cienciahoje.uol.com.br)

Figura 019 - Morada das Almas - Casa de Pau a Pique

Fonte: Internet (www.mcb.org.br)

Figura 020 - Casa Enxaimel Antiga - Serra Gaúcha

Fonte: Internet (www.memoriadopovoalemao.blogspot.com)

Segundo Castelnou (2003), a partir da Renascença, com o surgimento das primeiras escolas de arquitetura, as construções vernaculares passaram a ser consideradas de inferior qualidade e valor. Ao longo do tempo esse estigma foi aumentando, principalmente com o surgimento da industrialização, a ponto de menosprezar completamente este tipo de produção arquitetônica. A partir do século XIX qualquer prática que se distanciasse dos ditos modernos seria taxada de “exótica”, pois devido aos conhecimentos científicos e tecnológicos da época, acreditava-se que os espaços deveriam ser criados utilizando materiais artificiais e fundamentalmente desenvolvidos com conceitos funcionais e técnicos.

A Revolução Industrial foi um período de extensa mudança social, política, econômica e principalmente tecnológica. Teve seu despertar na Inglaterra, em meados do século XVIII. A Revolução Industrial, sobretudo significou a troca na mão-de-obra pela máquina tendo o capitalismo como principal modo de produção. A mudança da manufatura para as indústrias ocasionou a produção em série,

convertendo em grandes lucros e numa diminuição significativa no custo de mão-de-obra disponível. Este movimento dividiu as classes sociais em proprietários e operários e agravou uma situação de superlotação dos centros urbanos, ocasionando fortes mudanças demográficas. Primeiramente, a Revolução Industrial está diretamente ligada à modificação da técnica das construções. A pedra, o tijolo, a madeira e as telhas são materiais utilizados de maneira mais racional e a eles são incorporados novos elementos, como o ferro, o vidro e, posteriormente, o concreto. Durante este período se atinge um nível mais elevado de técnica construtiva e desenvolve-se o uso de máquinas de construir. Com o desenvolvimento da Geometria, o surgimento de instituições ligadas à construção fornece maior quantidade de profissionais capacitados (BENEVOLO, 1976).

Num segundo momento, existe um considerável aumento nos parâmetros construtivos. Durante este período, o crescimento dos centros urbanos foi fortemente intensificado, principalmente no século XIX, e as construções começam a se espalhar de forma sistemática sobre a superfície do planeta (Figura 021). Este fenômeno ocasionou uma diminuição da área de solo permeável, proporcionando uma variedade de problemas pela falta de infiltração da água no subsolo e o aumento substancial de águas pluviais na superfície (SALEIRO FILHO, 2015).



Figura 021 - Expansão do território urbano durante a Revolução Industrial - Inglaterra
Fonte: Internet (www.importantcool.com)

No final do século XIX, com o desenvolvimento do concreto, as maiores cidades da América e da Europa começam a utilizar lajes planas nas coberturas das edificações. Alguns dos maiores nomes da arquitetura na época ousaram adotar a implantação de jardins em lajes planas de cobertura. No princípio estes projetos continham um caráter ornamental, aparecendo em projetos sem grande destaque. Foi

o arquiteto suíço naturalizado francês Charles Edouard Jeanneret Gris, mais conhecido como Le Corbusier, quem deu início a utilização de terraços jardins de uma forma mais sistemática, transformando esta técnica em um dos cinco pontos fundamentais que embasavam a arquitetura de seus projetos (HENEINE, 2008).

A abordagem sistemática de produção arquitetônica atingiu seu clímax na primeira metade do século XX. A partir deste ponto, instituíram-se correntes de recusa ao racionalismo arquitetônico. Surgia uma nova forma de compreensão da arquitetura, que defendia diferentes culturas que compõem o mundo contemporâneo, deixando de lado uma visão unilateral e abrangendo uma nova gama de teorias e experimentações (CASTELNOU, 2003).

O movimento moderno pode ser compreendido como uma amálgama de colaborações fossem elas individuais ou coletivas. Por este motivo pode se pensar que a origem deste movimento não deve ser baseada apenas em uma única localidade ou berço cultural. Entretanto, existe uma correlação entre diversos resultados que, a partir do final da década de 1920, começam a despontar entre o trabalho de diversos grupos de variadas nações. Entre as principais vertentes para o movimento moderno é possível destacar Walter Gropius e seus colegas da Bauhaus e Le Corbusier. (BENEVOLO, 1976).

Ainda segundo Benevolo (1976), a escola alemã da Bauhaus preconizava a interligação de todos os tipos de arte, inclusive algumas consideradas inferiores, como marcenaria, cerâmica e tecelagem. Também era a favor do uso de novos materiais pré-fabricados, heranças dos princípios da Industrialização e da simplificação dos volumes, do predomínio das linhas retas e da geometrização das formas. Em alguns pontos estes conceitos se complementam com os pensamentos de Le Corbusier, como o uso de lajes planas de coberturas, geralmente transformadas em terraços, a abolição das paredes internas, voltadas para um estilo de planta baixa mais livre.

O grande mérito do arquiteto franco-suíço Le Corbusier foi o de conseguir aplicar seu incontestável dom no campo da razão e da comunicação. Suas obras não deveriam ser apenas interessantes e sugestivas, mas também úteis e universalmente aplicáveis. Para tanto, propôs parâmetros próprios decorrentes de suas experimentações. De fato, os chamou de "os cinco pontos de uma nova arquitetura", utilizados amplamente em suas obras (Figura 022).

- 1 - Os Pilotis: Com a incorporação do concreto armado, a casa deixa de ser um objeto aprofundado no terreno e passa a ficar no ar, longe do solo.
- 2 - Os Tetos - Jardim: Uma solução inteligente para sanar problemas de dilatação térmica agregados à utilização do concreto armado nas coberturas.
- 3 - A Planta Livre: Graças às estruturas de concreto armado, a planta não mais precisaria ficar amarrada às suas paredes e os andares não precisariam ser encaixados uns sobre os outros. Outro ponto importante é a economia de volume construído que a utilização deste ponto proporciona.
- 4 - As Janelas em Fita: A liberação das paredes como estrutura e a transformação das mesmas em elementos de vedação permitem que a janela possa ter mais liberdade e alcançar outras dimensões.
- 5 - A Fachada Livre: Os pilares recuam para o interior da edificação transformando as fachadas em membranas de isolamento.

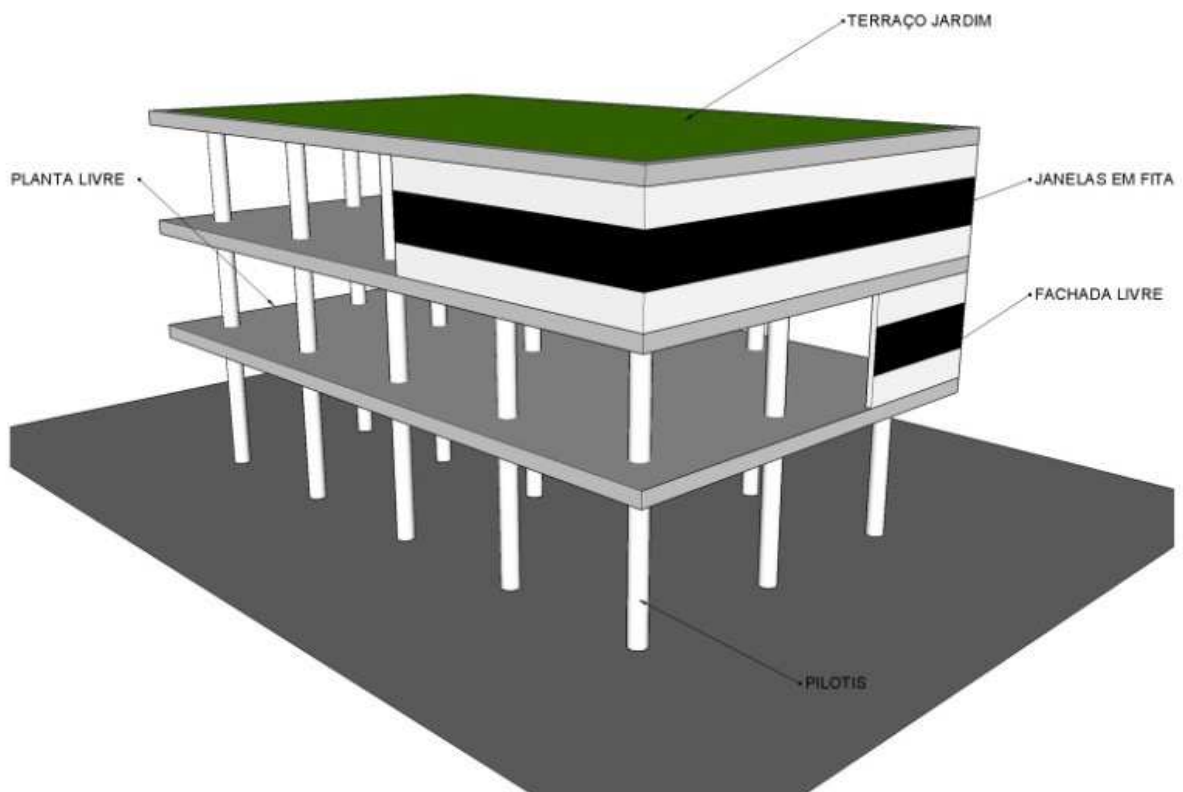


Figura 022 - Esquema dos 5 Pontos de Le Corbusier
Fonte: Autor

Ressaltando o ponto dos "Tetos-Jardim", é possível compreender que este item, especificamente, funciona não só por causa da técnica empregada, mas também para proteger a estrutura envolvida na técnica construtiva. A construção das coberturas homogêneas só é possível graças ao uso do concreto armado. Porém, esta técnica possui a característica de alta dilatação térmica, permitindo um rompimento imprevisto da estrutura. No lugar de procurar eliminar as águas pluviais da cobertura, seria mais interessante conservar estas águas sobre o concreto com a intenção de regular a temperatura da laje, evitando as oscilações térmicas, impedindo assim possíveis rupturas e mantendo a estanqueidade do sistema. Segundo Benevolo (1976) a adoção do Teto - Jardim, também conhecido por Teto - Terraço ou Terraço - Jardim acontece por razões técnicas, econômicas, funcionais e sentimentais (Figuras 023 e 024).



Figura 023 - Vila Savoye - França

Fonte: Internet (<http://www.cristinamello.com.br/wp-content/uploads/2012/09/Villa-Savoye-Poissy-architecte-Le-Corbusier-1928-19312.jpg>)

Figura 024 - Terraço Jardim da Vila Savoye de Le Corbusier - França

Fonte: Internet (www.ambientalistasemrede.org)

Segundo Segawa (1988) o movimento moderno teve a consagração do concreto armado na arquitetura brasileira por enfatizar o caráter moderno desta tecnologia e distanciar a arquitetura praticada na época dos sistemas construtivos mais tradicionais. No Brasil, segundo Savi (2012), o sistema de telhado verde ganhou mais destaque com o surgimento do movimento moderno e seus grandes nomes da arquitetura, tais quais Lúcio Costa e Oscar Niemeyer, que utilizaram o conceito de terraços jardins de Le Corbusier em alguns de seus projetos mais icônicos.

Em 1935 é lançado o concurso para o Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro. Liderados por Lúcio Costa, o grupo que executaria o projeto era composto por C. Leão, A. E. Reidy, J. M. Moreira, E. Vasconcellos e Oscar Niemeyer. Um ano depois, Le Corbusier se torna consultor da equipe e passa três semanas trabalhando

com o grupo local. Em 1937 o projeto final, baseado em sugestões de Le Corbusier é concluído. Passam-se dois anos e Lúcio Costa abandona a direção da equipe, deixando em seu lugar Oscar Niemeyer. O Ministério só ficaria pronto em 1946, época em que Niemeyer convida Le Corbusier a vir conhecer o prédio. Este é o primeiro exemplar de arquitetura moderna executado em solo brasileiro aplicando rigorosamente os pontos de Le Corbusier, entre eles, o Terraço - Jardim (Figuras 025 e 026) (BRUAND, 1999).



Figura 025 - Ministério de Educação e Saúde - Rio de Janeiro
Fonte: Internet (www.monolitho.wordpress.com)

Figura 026 - Ministério de Educação e Saúde - Rio de Janeiro
Fonte: Internet (www.pinterest.com)

O telhado verde vem sendo empregado por várias culturas ao longo da história. No mundo moderno a Alemanha tomou a frente no processo e começou a implantar coberturas vegetadas em larga escala (Figura 027) desde meados do século XX (OSMUNDSON, 1999). Reindard Bornkamm, um pesquisador da Universidade Livre de Berlin, é internacionalmente conhecido como o pai do telhado verde moderno. Em Stuttgart foi construída a Geno Haus (Figura 028), utilizando como base a pesquisa de Bornkamm. O telhado desta construção é constituído por mais de 2.700 metros quadrados e é um dos exemplos mais antigos de um telhado verde instalado em larga escala (GREEN ROOF GUIDE & CROSS SECTION, 2016). Segundo Snodgrass e McIntyre (2010), na década de 1980 o sistema de telhado verde extensivo se tornou um fenômeno por se tratar de uma tecnologia leve e de baixo custo, que poderia ser implementada para suprir a necessidade de um sistema de gerenciamento pluvial em áreas muito com muita concentração demográfica (Figura 029). Ainda segundo os autores, na Alemanha, o sistema de coberturas vegetadas tem um crescimento anual de 13,5 milhões de metros quadrados (SNODGRASS e McINTYRE, 2010).



Figura 027 - Telhado Verde PLU - Berlin, Alemanha

Fonte: Internet (http://www.urbanhabitats.org/v04n01/img/berlin_fig1a_lg.jpg)

Figura 028 - Telhado verde da GenoHaus - Stuttgart, Alemanha

Fonte: Internet (http://www.detail.de/fileadmin/_migrated/pics/StoCretec-1-11-2012.jpg)

Figura 029 - Bikini Berlin - Terraço com telhado verde extensivo - Berlin, Alemanha

Fonte: Internet (http://eandt.theiet.org/magazine/2014/07/images/640_bikini-berlin.jpg)

Como mencionado anteriormente neste trabalho, outras culturas europeias também vêm utilizando o telhado verde ao longo dos séculos. Segundo Heneine (2008), os imigrantes escandinavos que foram para a América do Norte levaram a ideia de cobertura vegetal e, por algum tempo, as coberturas gramadas foram utilizadas em casas de colonizadores (Figura 030). Inclusive na Noruega os telhados verdes são vistos como parte do patrimônio nacional e têm valor sentimental profundamente vinculado à natureza (Figura 031). Na América do Norte o sistema de telhado verde vem sendo bastante utilizado, principalmente por razões econômicas e como forma de implementação dos conceitos de sustentabilidade em projetos. Pode aparecer tanto em residências como em grandes empreendimentos (Figura 032). Apesar de não possuir uma lei federal, alguns estados dos EUA estabelecem incentivos para promover a implementação das coberturas vegetadas. Em 2009, Toronto, no Canadá (Figura 033), aprovou uma legislação requerendo o uso de telhados verdes em certos tipos de construções (SNODGRASS e McINTYRE, 2010).



Figura 030 - John Bakken Sod House - Dakota do Norte

Fonte: Internet (http://www.americaslibrary.gov/assets/jb/civil/jb_civil_homestead_2_e.jpg)

Figura 031 - Cabanas Típicas Escandinavas - Noruega

Fonte: Internet (<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/03/NorweigenGreenRoofs4.jpg>)



Figura 032 - Academia de Ciências da Califórnia - São Francisco, EUA

Fonte: Internet (https://arcoweb arquivos-us.s3.amazonaws.com/imagens/70/43/arq_37043.jpg)

Figura 033 - Telhado verde da prefeitura de Toronto - Toronto, Canadá

Fonte: Internet (https://bimbon-assets.s3.amazonaws.com/ckeditor/picture/data/5392304cf369332eb200114c/content_arquiteturatelhadoverde_bimbon08.jpg)

Os sistemas de coberturas vegetadas são, de fato, um fenômeno mundial. Esta tecnologia está espalhada pelos cinco continentes. Atualmente o telhado verde se encontra fortemente ligado aos conceitos de sustentabilidade e sua implantação em edificações. Nas figuras 034, 035, 036 e 037 é possível observar exemplos da implantação e uso do sistema de telhados verdes espalhados pelo mundo.



Figura 034 – Nanyang Technological University – School of Art, Design and Media – Singapura

Fonte: Internet (http://www.greenroofs.com/projects/ntu_singapore/ntu_singapore1.jpg)

Figura 035 – Hotel Forum Homini – Berço da Humanidade, África do Sul

Fonte: Internet (<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/02/Activate-Thermal.jpg>)



Figura 036 – The Cloak – Aeroporto Internacional de Auckland – Nova Zelândia

Fonte: Internet

(http://images.adsttc.com/media/images/53b4/f92c/c07a/8005/ce00/00ac/large_jpg/FH.Cloak.3-135.jpg?1404369178)

Figura 037 – Casa 34 – Lago Rupanco, X Región, Chile

Fonte: Internet (http://www.izquierdolehmann.com/wp-content/uploads/2014/05/473834910_dsc-2158.jpg)

No caso do Brasil, segundo Segawa (1988), na década de 70, devido aos primeiros aparecimentos dos conceitos de sustentabilidade, é possível notar uma postura mais ecológica e econômica, voltada para a utilização de materiais regionais. O clima foi, sem dúvida, o fator físico que mais influenciou a arquitetura brasileira. Devido à posição geográfica do país, que se encontra entre o a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, todo o território nacional apresenta temperaturas bastante elevadas no verão. O primeiro problema encontrado pelos arquitetos foi o de combater o calor e o excesso de luminosidade. Durante o período colonial e o neoclássico, o uso de generosos beirais e varandas funcionou para manter a casa brasileira entre temperaturas confortáveis. Entretanto, com o advento da arquitetura moderna, essencialmente importada de locais com temperatura mais amena, transformou a geometria da casa tradicional.

Algumas adaptações foram incorporadas a esta "nova arquitetura", para funcionar em solo brasileiro. Com o desuso da varanda e dos beirais, por fins principalmente estéticos, foi empregado o uso do *brise-soleil*, idealizado por Le Corbusier, para combater a insolação (Figura 038). Contudo, este elemento não resolveu o problema do calor, sendo possível apenas quando aliado a um sistema de circulação de ar eficiente. O brise-soleil acabou se tornando um elemento de contundente expressão plástica, fulgurando intensamente na arquitetura brasileira contemporânea (BRUAND, 1999) e sua utilização vem sendo comumente empregada tanto em residências quanto em projetos de maior porte (Figura 039).



Figura 038 - Unité d'habitation de Marseille (1952) - França

Fonte: Internet (<http://histaarq.files.wordpress.com/2012/09/le-corbusier-unite.jpg>)

Figura 039 - Sede do SEBRAE - Brasília

Fonte: Internet (http://arcowebarquivos-us.s3.amazonaws.com/imagens/16/12/arq_71612.jpg)

O telhado verde exerce um papel significativo no atual contexto das políticas de sustentabilidade e surge no Brasil como uma opção atraente, que se ajusta às condições climáticas e morfológicas dos projetos, independente dos estilos e formas arquitetônicas praticadas (Figuras 040 e 041).

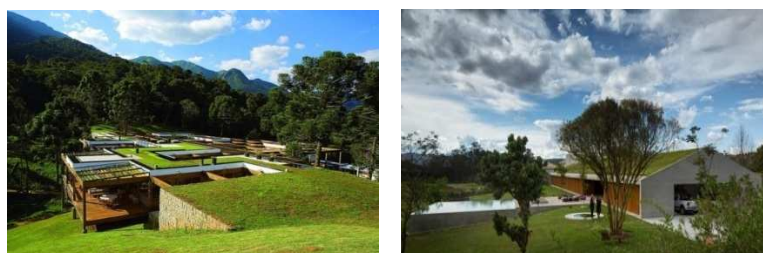


Figura 040 - Casa Grelha, FGMF Arquitetos - Serra da Mantiqueira, SP

Fonte: Internet (https://arcowebarquivos-us.s3.amazonaws.com/imagens/86/97/arq_48697.jpg)

Figura 041 - MM House, Studio MK27 - Bragança Paulista, SP

Fonte: Internet (<http://www.galeriadaarquitectura.com.br/lmg/projeto/SF1/341/casa-mm2557.jpg>)

No Rio Grande do Sul o sistema de telhado verde vem ganhando aceitação com a proposta de funcionar de maneira eficaz para os extremos de temperatura que o clima do estado proporciona às edificações (Figuras 042, 043, 044 e 045). Em uma matéria publicada pelo site de Jornalismo Ambiental da UNIRITTER, Bordin (2014), relata que o sistema de telhado verde está começando a ser utilizado no Rio Grande do Sul, pois além de valorizar os espaços ele funciona como um excelente isolante térmico, tanto no verão quanto no inverno. Inclusive já existe um Projeto de Lei em tramitação na Câmara Municipal de Porto Alegre que exige a implantação do sistema de telhado verde em prédios públicos, sejam eles reformas ou prédios novos (MACEDO, 2016).

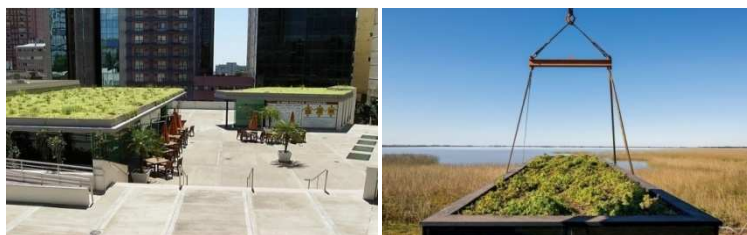


Figura 042 - Multipalco ao lado do Teatro São Pedro - Porto Alegre, RS

Fonte: Internet (http://www.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/img-3-508%24%243803.jpg)

Figura 043 - Minimod, MAPA Architects - Maquiné, RS

Fonte: Internet (https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/project_modules/hd/8886ee10324433.560e30615ee23.jpg)



Figura 044 - Banca de Jornal com sistema Hidromodular da Ecotelhado - Canoas, RS

Fonte: Internet (https://fbcdn-sphotos-a-a.akamaihd.net/hphotos-ak-xtf1/t31.0-8/12657904_1221851087843070_4638035942114719920_o.jpg)

Figura 045 - Residência CB - BuildingUP Eng. & Arq. - Ivoti, RS

Fonte: Autor

3 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS, MATERIALIDADE, IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS COBERTURAS VEGETADAS EXTENSIVAS

Segundo a definição de Ugalde (2004), os telhados verdes são coberturas de edificações com vegetação, utilizando plantas adaptadas às condições climáticas e de solo locais. Como visto anteriormente neste trabalho, a cobertura vegetada participou da própria epopeia humana, fazendo parte do desenvolvimento das coberturas das edificações. É possível conferir este feito à versatilidade passiva deste sistema, pois, em princípio, não necessita de intervenções mecânicas para funcionar normalmente e, geralmente, requer apenas manutenção preventiva como as podas da vegetação e a irrigação da mesma. O telhado verde é uma ferramenta recorrente na arquitetura ecológica.

A arquitetura ecológica se baseia na utilização dos materiais respeitando suas naturezas fazendo uso de seus comportamentos variados. Na prática, o projeto ecológico utiliza fundamentos físicos e científicos para obter resultados de baixo custo e impacto energético e está bastante incorporada à arquitetura bioclimática.

A Arquitetura Bioclimática atenta para a adaptação da construção ao clima, tendo em vista o conforto térmico, acústico e visual. Segundo Corbella e Cörner (2011) esta vertente da arquitetura utiliza o invólucro da edificação como uma membrana reguladora entre o ambiente interno e externo. Este artifício é utilizado como meio de atingir o conforto térmico ambiental aproveitando os recursos projetuais, a escolha dos materiais e levando em consideração as condições climáticas externas.

Em contrapartida, o projeto sustentável é aquele que prevê seus conceitos em todas as etapas da construção, baseado nos pilares do desenvolvimento sustentável - econômico, social e ambiental - gerando o menor impacto ambiental possível com o melhor resultado. A arquitetura ecológica pode ser vista como uma parte referente à questão ambiental, dentro da esfera da arquitetura sustentável (GAUZIN-MÜLLER, 2011).

Ainda segundo Gauzin-Müller (2011), a arquitetura ecológica pode ser dividida em duas principais vertentes: *low-tech* e *high-tech*. O *low-tech* se baseia no uso de materiais naturais enquanto o *high-tech* constitui na utilização tanto da tecnologia de softwares para calcular índices de conforto ambiental quanto o emprego de materiais mais elaborados e desenvolvidos com tecnologias de ponta.

Segundo Edwards (2013), a tecnologia é o principal elemento para a prática da arquitetura verde no futuro. As novas tecnologias construtivas baseadas em fachadas inteligentes, células fotovoltaicas, massa térmica, ventilação natural e paredes verdes estão cada vez mais em evidência em diversos projetos. O autor cita três importantes vetores que impulsionam essa abordagem da arquitetura:- o manejo da ecologia como um sistema;

- a ampliação dos temas relacionados à sustentabilidade para além da conservação de energia;

- a integração entre os seres humanos, o espaço e a tecnologia dentro do paradigma da sustentabilidade.

Os antigos telhados verdes podem ser considerados *low-tech*, ou, de baixa tecnologia. Estes sistemas, compostos basicamente de coberturas revestidas de terra e vegetação, são utilizados até hoje da mesma forma que seus ancestrais, principalmente quando incorporados a arquitetura auto - construída. Entretanto, alguns componentes do sistema evoluíram, acompanhando a industrialização e a demanda *high-tech*, ou de alta tecnologia, para se adequarem às necessidades climáticas de cada região, e utilizar materiais mais atuais, principalmente de reaproveitamento, refletindo a preocupação dos fabricantes com as políticas públicas de sustentabilidade.

3.1 Em Busca de Uma Classificação para as Coberturas Vegetadas

Conforme Ferraz (2012), existem três principais tipos de cobertura vegetada, o intensivo, o semi-intensivo e o extensivo. Entretanto, em seu manual, Snodgrass e McIntyre (2010), ressaltam apenas os tipos Intensivo e o Extensivo, mesmos tipos de sistema de telhado verde destacados pelo documento britânico Green Roof Guidelines (2014). Segundo Krebs (2005) é importante conhecer a classificação das coberturas vegetadas para entender as principais diferenças de implementação e manutenção de cada tipo de sistema. As coberturas vegetadas podem ser executadas de diversas formas, utilizando uma gama variada de materiais. Alguns fatores podem ser determinantes para solucionar o tipo de sistema implantado.

De acordo com Snodgrass e McIntyre (2010) existem algumas ressalvas importantes que devem ser levadas em conta na hora de optar pela utilização do

sistema de telhados verdes. A manutenção da cobertura vegetada é um ponto crucial que deve ser debatido logo no nos primeiros estágios de projeto.

O cuidado com o sistema de coberturas vegetadas deve ser diferente do usual para paisagismo térreo em jardins naturais. A manutenção deve ser devidamente programada para se tornar preventiva ao invés de reativa ou corretiva. A saúde das plantas e do solo deve ser monitorada e mantida balanceada. Os problemas ocorrentes em coberturas tradicionais também devem fazer parte da manutenção de um telhado verde. A impermeabilização e os outros componentes da cobertura devem permanecer intactos e com boa funcionalidade (SNODGRASS e McINTYRE, 2010).

3.1.1 Telhado Verde Intensivo

Segundo Krebs (2005) no telhado verde Intensivo a vegetação atua de maneira similar ao seu comportamento no solo. Ao se adotar esse sistema deve ser levado em conta principalmente as espécies de planta utilizadas, pois estas são agentes dominantes na escolha da espessura da camada de substrato, nos nutrientes e nos cuidados com a irrigação da vegetação (Figura 046). Esses fatores podem determinar uma carga bastante elevada na estrutura da edificação. Segundo Silva (2011), a carga de um telhado verde intensivo pode variar de 180 Kg/m² a 500 Kg/m². Segundo Pinto (2014), a cobertura intensiva se desenvolve em todo o perímetro da cobertura de uma edificação, permitindo uma distribuição uniforme da carga na área da cobertura e possui um sistema único de drenagem. Assim, Ferraz (2012), relata que este sistema não deve ser executado em coberturas inclinadas e o substrato para esta categoria de telhado verde pode variar de 20 cm a 1,20 m de espessura. Este tipo de cobertura não é o foco deste trabalho.

3.1.2 Telhado Verde Semi-Intensivo

Segundo Ferraz (2012), o telhado verde semi-intensivo é um tipo de cobertura com altura intermediária que fica entre as alturas de vegetação e substrato das coberturas intensivas e extensivas. Este tipo de cobertura não é mencionado por vários autores por se tratar do sistema menos utilizado sendo, em muitas vezes, considerado como intensivo.

3.1.3 Telhado Verde Extensivo

Segundo Krebs (2005), o telhado verde extensivo possui uma vegetação mais rasteira, composta por gramas, pequenos arbustos e ervas, e exige menos manutenção do que o telhado verde intensivo. Em geral, as espécies de plantas utilizadas são resistentes às condições climáticas locais, tais quais as que possuam uma alta capacidade de adaptação e resistência. Segundo a autora, as coberturas extensivas possuem os benefícios ambientais das coberturas intensivas, porém, sem o alto impacto gerado na estrutura e o custo de manutenção de um jardim tradicional. Segundo Pinto (2014), este sistema, quando comparado ao intensivo, é muito mais leve e barato. Também é este o sistema utilizado em coberturas inclinadas. Segundo Ferraz (2012), o substrato das coberturas verdes extensivas pode variar de 5 a 20 cm e pode ser executado em inclinações de até 45°, desde que devidamente preparada. Segundo Silva (2011), a carga de um telhado verde extensivo pode variar de 80 Kg/m² a 150 Kg/m². Esta é a categoria de cobertura vegetada a ser tópic de análise do presente documento. Na Figura 046 é possível comparar a diferença entre os telhados verdes extensivos e intensivos.



Figura 046 – Comparação entre os telhados verde extensivo e intensivo
Fonte: Autor

3.2 Possível Composição dos Telhados Verdes

A variação de tipo de cobertura vegetada permite que este sistema possua uma gama diversificada de componentes. Alguns destes elementos são unânimes na composição do sistema e outros dependem da solução adotada na implantação do mesmo. Em geral os sistemas de telhado verde são instalados sobre lajes planas de

concreto, principalmente para serem utilizados como uma área útil na cobertura das edificações. Contudo, o sistema de coberturas vegetadas também pode ser amplamente encontrado em coberturas inclinadas, sejam ela de concreto ou, em alguns casos, até de madeira. Comumente os itens que compõe o sistema de cobertura vegetada são a **impermeabilização, a proteção mecânica, a camada de proteção anti-raiz, o sistema de drenagem, a camada filtrante o substrato e a vegetação**, como mostrado na Figura 047.



Figura 047 – Possível composição de uma cobertura vegetada
Fonte: Autor

Silva (2011) relata que para telhados verdes onde poderá haver pisoteio e uso intenso, existe uma tecnologia onde todos os componentes estruturais (camada drenante, filtrante e reservatório) são unidos em uma mesma peça plástica modular com encaixe lateral, onde o substrato é leve e existe um adequado desenvolvimento das raízes. Este sistema é chamado de laminar, por causa da lâmina d'água que existe entre a cobertura impermeabilizada e o substrato e a vegetação (Figura 048 e 049).

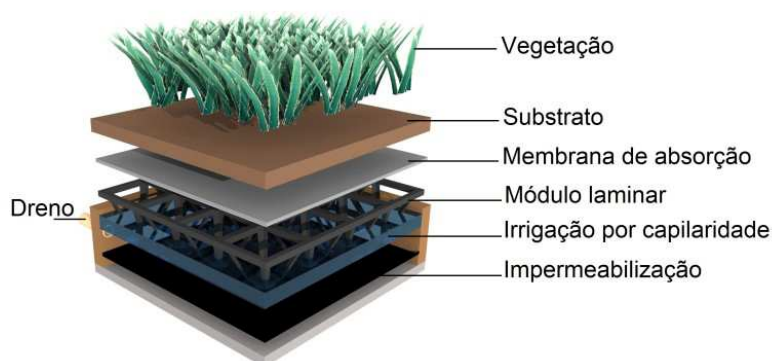


Figura 048 – Telhado Verde Extensivo Laminar

Fonte: Internet (<https://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/sistema-laminar-medio>).

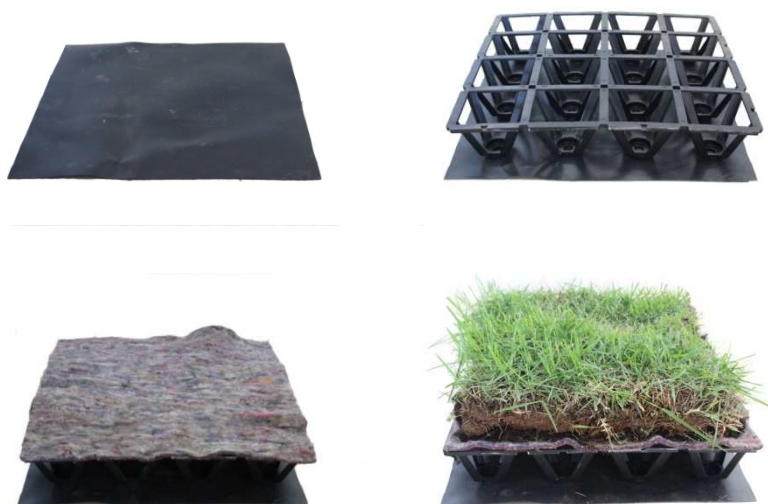


Figura 049 – Telhado Verde Extensivo Laminar

Fonte: Internet (<https://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/sistema-laminar-medio>).

3.2.1 Impermeabilização e Infiltrações

Segundo Pinto (2014), o principal objetivo da impermeabilização é impedir a infiltração de água na estrutura. Nas coberturas vegetadas a impermeabilização, dependendo do material que for utilizado, pode também ter a eventual função de proteger a estrutura da penetração de raízes. Em concordância com este conceito, Lopes (2007), diz que além de mais importante, a impermeabilização é também, em muitos casos, a camada mais dispendiosa no quesito custo.

Jobim (2013) explana sobre a camada de impermeabilização, relatando que este componente é responsável pela efetividade e durabilidade do telhado verde. Ainda segundo o autor, existe a necessidade de se fazer uma análise prévia da

estrutura a qual ela irá sobrevoar para que haja uma escolha adequada do tipo de cobertura. Segundo Krebs (2005), uma impermeabilização bem solucionada deve prever um sistema composto por diversas camadas com a intenção de aumentar seu desempenho. Desta forma, além da camada impermeabilizante, outras duas camadas, de regularização da base e proteção da impermeabilização, devem compor o mesmo sistema. De acordo com a autora, em coberturas planas a camada de regularização deve ter uma inclinação mínima de 1% em direção à coleta de água. Krebs (2005), entende que a não aderência da membrana de impermeabilização a estrutura que a suporta, é fundamental para o seu desempenho, devendo, no caso da manta asfáltica, ser aderida às bordas periféricas da cobertura. Segundo a mesma autora, outra medida funcional para o êxito da impermeabilização é a utilização de camadas duplas sobrepostas ou a aplicação cruzada de duas demãos de pintura asfáltica impermeabilizante, precedendo a camada de manta asfáltica.

Segundo Lockett (2009), o termo "impermeabilizantes" é utilizado na indústria de coberturas para se referir aos selantes na forma líquida, utilizados para tornar os substratos de concreto mais resistentes às intempéries. Já o termo "membrana de cobertura" é referente ao material normalmente utilizado para proteger das intempéries os diversos tipos de substratos que compõe o telhado verde.

É possível observar que, para garantir a estanqueidade e o bom funcionamento do sistema de coberturas vegetadas, se faz necessária a execução de uma excelente impermeabilização. Esta pode vir a ser a camada com maior valor agregado. Segundo Heneine (2008), existem três tipos de membranas de impermeabilização: a de coberturas em áreas urbanizadas, a de única espessura (tráfego) e a membrana fluida aplicada.

As membranas de áreas urbanizadas são o tipo mais comum de se encontrar e podem ser compostas de material asfáltico, feltro ou betumizadas, com SBS incluso, que é um polímero que aumenta a elasticidade da membrana (Figura 050). Geralmente, estes são materiais com vida útil limitada entre quinze e vinte anos e são suscetíveis deterioração pelas intempéries, causando craqueamentos e fissuras na camada impermeabilizante. A manta asfáltica tem uma eficiência mediana, pois necessita da complementação da proteção mecânica para se proteger da infiltração de raízes. O nível de complexidade da aplicação é alto e necessita uma mão de obra

especializada e o material não pode ser aplicado sobre qualquer tipo de superfície, pois utiliza fogo como parte do processo de instalação (Figura 051).



Figura 050 – Imagem da Manta Asfáltica

Fonte: Internet (<https://www.ufrgs.br/eso/content/up/03.-rolos-de-manta-asf%C3%A1ltica.jpg>)

Figura 051 – Aplicação de Manta Asfáltica

Fonte: Internet (<http://img.olx.com.br/images/43/4355009613.jpg>)

Membranas de única espessura podem ser bastante eficientes quando aplicadas corretamente. Esse material se apresenta na forma de rolos plásticos inorgânicos ou borracha sintética (Figura 052), pode ser de PEAD (Figura 053), que é um polietileno de alta densidade, PVC para o caso das termoplásticas (Figura 054), ou adesivas se forem de EPDM ou de butil (Figura 055). Estas mantas são conhecidas no mercado como Geomembrana e são muito eficientes. Necessitam mão de obra especializada mas não são tão difíceis de executar quanto as mantas de material asfáltico. Não é necessário executar a proteção mecânica por cima da camada, pois ela mesma já protege a cobertura da penetração de raízes. Segundo a experiência do autor do presente trabalho, em alguns casos a Geomembrana pode ter uma instalação complicada, apresentando relevos e ondulações, principalmente em coberturas com áreas pequenas. Este processo pode prejudicar o bom funcionamento do sistema de telhado verde implantado sob esta impermeabilização.



Figura 052 – Imagem da Geomembrana

Fonte: Internet (<http://inovageo.eng.br/wp-content/gallery/geomembrana/geomembrana3.jpg>)

Figura 053 – Aplicação da manta de PEAD

Fonte: Internet (<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/44/imagens/i315793.jpg>)

Figura 051 – Aplicação da manta de PVC

Fonte: Internet (<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/44/imagens/i315798.jpg>)

Figura 055 – Aplicação da manta de EPDM

Fonte: Internet (<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/44/imagens/i315795.jpg>)

Membranas fluidas aplicadas têm boa execução, eliminando o problema de juntas e de fácil aplicação vertical. Podem aparecer de forma líquida quente ou fria (Figura 056). Apesar de requerer cuidados, sua aplicação possui uma execução relativamente menos complexa do que as demais formas de impermeabilização.



Figura 056– Aplicação da membrana fluída

Fonte: Internet (<http://www.vedacaosolida.com.br/imagens/informacoes/impermeabilizacao-manta-liquida-02.jpg>)

Todos os cuidados devem ser tomados para que a camada de impermeabilização não seja danificada durante a instalação dos demais itens que

compõe o telhado verde. A vedação da impermeabilização é fundamental, principalmente nas emendas e nas bordas periféricas da cobertura. Uma das formas de impermeabilizar uma laje de cobertura é levar a camada de impermeabilização até o final da borda periférica desta cobertura e fazendo com que a água não possa infiltrar descendentemente. Outra maneira de impermeabilização é levar a camada até uma reentrância na mureta ou platibanda, fazendo com que as pontas da camada fiquem protegidas de possíveis infiltrações (Figura 057).



Figura 057 – Formas de instalação da impermeabilização na cobertura
Fonte: Autor

Infiltrações

Segundo Queiroz (2008), o aparecimento importuno de água dentro das edificações pode ser causado por vários agentes, tais como vazamentos de tubulações de água e esgoto, umidade proveniente da própria construção, ações voluntárias dos usuários, condensação, absorção por capilaridade, penetração de água pelas paredes externas e pela cobertura, entre outras. A infiltração de água na estrutura pode ocasionar fissuras, trincas, rachaduras, aparecimento de bolor e bolhas na pintura.

De nada adianta tomar todos os cuidados necessários para impermeabilizar as fachadas e o interior da edificação se a cobertura não estiver estanque. Segundo Queiroz (2008), a camada impermeabilizante deve se estender até as platibandas, pois sem proteção estes são pontos passíveis de penetração de água. Sem a devida impermeabilização a água pode se acumular no topo da platibanda e penetrar para o interior da parede. Ainda, para proteger a membrana de impermeabilização devem ser utilizadas pingadeiras (respingadores) de borda, direcionando a água para que escorra e não se acumule.

De acordo com Hussein (2013), as patologias consequentes da falha ou ausência da impermeabilização são resultado do excesso de umidade nas

edificações. As manifestações patológicas provocadas pela infiltração de água, devido à ausência ou falha da impermeabilização podem ser a carbonatação do concreto, a eflorescência e a corrosão das armaduras.

O projeto de impermeabilização deve ser executado por profissionais capacitados. A cobertura deve ser detalhadamente dimensionada e especificada e suas calhas e toda a tubulação de descida da água pluvial deve ser dimensionada e detalhada. As laterais das platibandas não devem ser esquecidas durante o processo de impermeabilização. O topo da platibanda deverá ser protegido por um chapim ou similar (com pequena inclinação para dentro da cobertura). Para solucionar uma infiltração decorrente de falha na camada de impermeabilização, é necessário isolar a área atingida, remover a água da cobertura, quando houver, remover o restante dos materiais que compõe a camada e reparar a região afetada. As camadas subsequentes à impermeabilização só devem ser recolocadas após o teste de estanqueidade da cobertura.

3.2.2 Proteção Mecânica Anti-Raiz

A proteção mecânica é uma camada de concreto magro instalada sob a camada de impermeabilização. Deve medir de 3 a 5cm (Figura 058). Seu propósito é proteger a camada de impermeabilização de possíveis danos causados durante a instalação dos outros componentes do sistema de telhado verde. Ela também serve para evitar fricção dos outros materiais com a membrana impermeabilizante.



Figura 058– Camada de Proteção Mecânica

Fonte: Internet (<http://www.peritos.eng.br/wp-content/uploads/2016/01/polietileno.jpg>)

Também se faz necessário proteger a impermeabilização da possível agressão de raízes, que tendem a se fortalecer com os anos, causando sérios danos de infiltração. A barreira anti-raiz protege a cobertura da construção e sua impermeabilização de serem danificadas pela possível penetração de raízes. Lopes

(2007), e Gatto (2012), vinculam a impermeabilização e a proteção anti-enraizante, sendo possível que, dependendo do material utilizado para fazer a impermeabilização, ela mesma haja como proteção anti-raiz. Segundo Heneine (2008), se a camada de impermeabilização contiver asfalto ou betume, ou mesmo outro material orgânico, é crucial haver uma contínua separação entre a impermeabilização e a camada de plantas, pois a matéria orgânica da membrana poderia ser suscetível a penetração de raízes e microrganismos.

Krebs (2005), afirma que para a impermeabilização de jardins, uma prática comum é o uso de pinturas anti-enraizantes (herbicidas), compostas por produtos químicos. A autora também comenta que em coberturas verdes extensivas é comum a utilização de mantas ou capas de PVC ou material similar.

Segundo Lockett (2009), a camada anti-raiz costuma ser de dois tipos - têxtil ou termo - plástica. A Manta Têxtil (Figura 059) é um material de tecido que contém agentes químicos que repelem o crescimento da raiz, para prevenir que ela danifique os materiais da cobertura ou impermeabilização. Barreiras anti-raízes fabricadas com tecido são projetadas para repelir o crescimento das raízes de plantas menores e são mais adequados para as coberturas verdes extensivas rasas e propagadas, com vegetação de raiz fibrosa. Este material geralmente não agrega peso significativo nas cargas totais. A Manta Termo - Plástica (Figura 060) pode ter um custo mais elevado do que as de tecido, mas proporciona proteção contra a penetração de raízes de plantas maiores, como pequenas árvores, arbustos e gramíneas, que possuem raízes mais agressivas. Este tipo de proteção é impermeável e deve ser posicionado abaixo da camada drenante, logo a cima da impermeabilização.

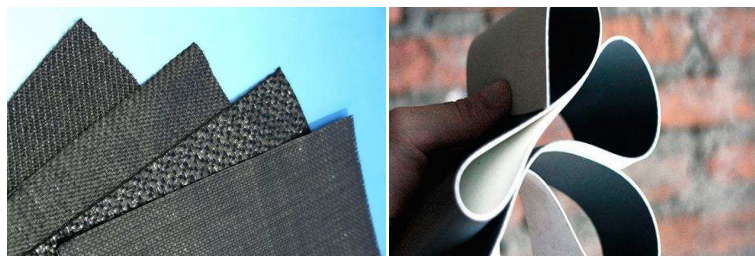


Figura 059– Manta Têxtil

Fonte: Internet (<https://ntcbrasil.com.br/wp-content/uploads/2014/12/geotextil-tecido-capa.jpg>)

Figura 060– Manta Termo - Plástica

Fonte: Internet (<http://www.emcdobrasil.com.br/imagens/membrana-termoplastica-tpo-02.jpg>)

Manter as raízes longe da impermeabilização é uma das principais funções da proteção anti-raiz. É necessário um cuidado redobrado quando a impermeabilização contiver material orgânico, como no caso da manta asfáltica, pois em uma possível falta de água, a raiz pode buscar nutrientes na matéria orgânica existente na manta, acarretando possíveis pontos de infiltração de água. Quando a impermeabilização for executada com Geomembrana, a camada de proteção anti-raiz não precisa, necessariamente, ser executada.

3.2.3 Sistema de Drenagem

A camada de drenagem tem como principal função propiciar a drenagem da água, evitando seu acúmulo no sistema e, sistematicamente, reservar uma determinada quantidade de água que pode vir a ser utilizada pela vegetação durante o período de estiagem. Segundo Jobim (2013), a camada drenante pode ser composta por material granular tal como a argila expandida ou vermiculita (Figura 061), tecidos porosos ou módulos plásticos (Figura 062), como no caso dos telhados verdes laminares, que permitam a circulação da água até os drenos. Segundo o autor, a integração dos sistemas de telhado verde e as cisternas de captação de águas da chuva podem tornar possível o gerenciamento das águas pluviais em edificações, abrandando o sistema público de drenagem pluvial.



Figura 061– Camada drenante de Argila Expandida

Fonte: Internet (http://3.bp.blogspot.com/--7bq-nh6wUk/VapfR21B6PI/AAAAAAAAAXs/6s7QzMzINg0/s1600/100_0985.JPG)

Figura 062– Instalação de Módulos Plásticos de Drenagem

Fonte: Internet

(http://static.wixstatic.com/media/86d800_2fa7ee6336904e8d9529ecd392425353.jpg_256)

Segundo Pinto (2014), o excesso de água na cobertura de um sistema de telhado verde pode ocasionar a morte de algumas plantas, além de gerar uma possível sobrecarga na estrutura da edificação. Novas soluções de mercado permitem

outros tipos de função, como no caso dos telhados verdes extensivos laminares, onde a laje funciona como espaço de armazenamento de água.

Na cobertura verde a água utilizada para fazer a rega das plantas já diminui a descarga nas drenagens e também pode ser armazenada para outros fins. Deve haver um dimensionamento da capacidade de absorção de água da cobertura verde, de acordo com o índice de precipitações do local onde este sistema deverá ser utilizado (HENEINE, 2008 e FERRAZ, 2012).

A camada drenante auxilia na percolação da água para dentro dos drenos do sistema de telhados verdes evitando que seu acúmulo forme lâminas d'água sob a vegetação gerando o afogamento das plantas e uma possível sobrecarga estrutural. Esta camada também contribui para o bom funcionamento dos ralos e drenos. A argila expandida é bastante aceita como camada drenante, pois sua carga própria não apresenta uma sobrecarga considerável na estrutura. Além de ter custo relativamente baixo é facilmente encontrada no mercado. No caso de telhados verdes extensivos laminares a camada drenante está incorporada aos módulos plásticos que diminuem consideravelmente a carga sob a estrutura e funcionam como suporte para uma possível câmara de armazenamento de água elevada.

3.2.4 Camada Filtrante

A camada filtrante separa as camadas de planta e substrato da camada drenante que fica abaixo dela. Segundo Heneine (2008) e Baldessar (2012), Esta camada serve para reter pequenas partículas, humos e materiais orgânicos, deixando estes disponíveis para as plantas. A camada filtrante também ajuda a manter a camada drenante e o escoadouro livre de resíduos (Figura 063).

Segundo Gatto (2012), a camada filtrante pode ser utilizada mais vezes num mesmo sistema, para amplificar seu efeito. Segundo o autor, o material mais utilizado para essa peça do sistema é o geotêxtil, que é um composto de fibra sintética, semelhante a um feltro. Krebs (2005) relata que em coberturas plana ou pouco inclinadas à camada drenante é coberta por um feltro ou uma tela, para impedir que o lodo que se forma na camada de substrato, situada acima, não passe para a mesma, dificultando a respiração das raízes. Somente a partir das coberturas levemente inclinadas que esta medida deixa de ser necessária. Em algumas situações, a

vegetação e o substrato podem estar integrados à camada filtrante, com as raízes das plantas fixadas na referida camada.



Figura 063– Manta da Camada Filtrante

Fonte: Internet (https://http2.mlstatic.com/manta-anti-ruído-feltro-adesivado-isolante-termo-acustico-D_NQ_NP_285811-MLB20636431059_032016-F.jpg)

3.2.5 Substrato

A função do substrato, segundo Jobim (2013), é proporcionar uma forma de fixação e crescimento da vegetação, onde se desenvolvem as raízes das plantas, fornecendo água e os nutrientes necessários para o desenvolvimento da mesma (Figura 064). Deve ser uma mistura de componentes inorgânicos e orgânicos com boa dosagem e com capacidade de manter o nível de nutrientes, a umidade e oxigenação por um período de tempo economicamente viável (GATTO, 2012).



Figura 064– Preparação do Substrato sob a Camada Filtrante

Fonte: Internet (<http://ecotelhado.blog.br/wp-content/uploads/2012/11/laminar6-passo-3.jpg>)

O tipo de substrato deve ser escolhido conforme a vegetação sobre ele. Segundo Krebs (2005), no caso das coberturas verdes extensivas com sêdum, ervas silvestres e grama pobre, é melhor que o substrato não contenha uma quantidade muito alta de húmus, pois segundo a autora, o húmus aumenta a capacidade do substrato de reter água, o que pode ser prejudicial para certas espécies de plantas.

Segundo a mesma autora, o solo ideal não deve ser muito argiloso e deve ser misturado com areia para que haja um maior espaço para enraizamento das plantas

e o substrato fique mais leve e com maiores características drenantes. A composição do substrato deve ser regulada de acordo com o tipo de vegetação utilizada, os materiais disponíveis na região e a inclinação da cobertura. A composição e a espessura do substrato vão depender do modelo de cobertura vegetada a ser utilizado, tal qual o tipo de vegetação (JOBIM, 2013).

A escolha do substrato é fundamentalmente vinculada ao tipo de vegetação adotada. Quanto menos substratos, mais próximos da água devem estar às raízes das plantas para que não haja falta de nutrientes. Para alguns sistemas, como no caso do telhado verde extensivo laminar, onde a vegetação é em geral rasteira e com raízes pouco profundas, é possível encontrar a vegetação cultivada na própria manta de camada filtrante (Figura 065), juntamente com uma pequena camada de substrato. Este recurso acaba facilitando a instalação e tornando este componente um item de fácil remoção e substituição.



Figura 065– Raízes plantadas diretamente na camada filtrante
Fonte: Internet (http://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/photo/image/52823/large_Ra_zes_Laminar.JPG)

3.2.6 Vegetação, Irrigação e Podas

Segundo Savi (2012), a vegetação é a última camada de um telhado verde e deve ser definida em conjunto com as demais camadas. O tipo de telhado verde e a espessura do substrato são os fatores essenciais para selecionar as plantas. Heneine (2008), conta que as plantas devem ser selecionadas de acordo com o entorno, a manutenção e a aparência. Durabilidade, baixa manutenção e resistência a secas são premissas para escolha das plantas em uma cobertura verde extensiva.

Além do objetivo do telhado verde, a escolha das plantas, segundo Silva (2011), deve depender também do quanto a estrutura da edificação pode receber de carga. O clima do local é um fator determinante para escolha das plantas, onde é preferível

utilizar plantas regionais acostumadas ao tipo de clima. Um jardim agradável geralmente contém plantas ornamentais e grama, além de seixos, cascas de árvores e outros adereços que compõem o paisagismo. Os telhados verdes extensivos possuem menor possibilidade de variação da vegetação em comparação com um telhado verde intensivo, devido a sua reduzida camada de substrato, portanto a grama é geralmente a vegetação mais utilizada (SILVA, 2011).

Segundo Krebs (2005), as variações de temperatura são consideravelmente menores no telhado verde do que no terreno. Para fazer a escolha da vegetação é importante considerar o contraste entre as temperaturas mais baixas durante a noite e mais altas durante o dia. Krebs (2005), e Savi (2012), entendem que, para fazer uma seleção das espécies de plantas que melhor se adaptem ao sistema da cobertura verde extensiva, devem ser levadas em conta as seguintes etapas:

- definição dos usos previstos para a cobertura;
- análise das características climáticas do local tais quais:
 - precipitação local;
 - sombreamento;
 - exposição ao vento;
 - orientação solar;
- espessura e tipo do substrato;
- inclinação da cobertura;
- inventário das espécies vegetais locais e regionais levando em consideração:
 - resistência à seca;
 - resistência ao frio;
 - resistência a radiação solar direta;
 - resistência a ventos fortes e geada;
 - capacidade de regeneração;
 - altura de crescimento da vegetação;
 - capacidade de integração com o espaço;
 - resistência a pragas;
 - dimensionamento das raízes;
 - capacidade de captação de água;
 - demanda de nutrientes das espécies;
 - facilidade de obtenção e disponibilidade mercadológica;

- manutenção

Levando em conta grande parte desses fatores, as principais variedades de plantas utilizadas em coberturas verdes extensivas são o Sedum, Sempervivum e Sanxifraga (Figura 066) - todas pertencentes às espécies suculentas. Outras variedades como as especiais Dianthus (Figura 067), Asteraceae (Figura 068) e as gramas ornamentais (Figura 069) são bastante adequadas para este tipo de cobertura (HENEINE, 2008).

No Rio Grande do Sul, devido às condições climáticas, os tipos de plantas constantemente utilizadas nos sistemas de telhado verde são as gramíneas e as suculentas, dependendo da quantidade de tráfego que a cobertura vegetada em questão deverá suportar. Em sistemas de coberturas vegetadas onde haverá um constante pisoteio é aconselhado o uso de algum tipo de grama robusta e de manutenção relativamente fácil.



Figura 066– Suculentas

Fonte: Internet (<http://flores.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/suculenta-2/como-cuidar-de-las-plantas-suculentas.jpg>)

Figura 067–Dianthus

Fonte: Internet (<https://newfs.s3.amazonaws.com/taxon-images-1000s1000/Caryophyllaceae/dianthus-barbatus-fl-pnw.jpg>)

Figura 068–Asteraceae

Fonte: Internet (<http://ohioplants.org/wp-content/uploads/2012/04/Senecio-vulgaris.jpg>)

Figura 069– Grama Ornamental - Grama Preta

Fonte: Internet (<http://flores.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/grama-preta3/grama-preta-8.jpg>)

Irrigação da Vegetação

Segundo Lopes (2007), todo e qualquer tipo de cobertura verde necessita algum tipo de manutenção. No entanto, telhados verdes extensivos, com baixo peso próprio, requerem pouca manutenção. Inclusive, depois de totalmente estabelecida a vegetação, dependendo do tipo de sistema e do local do projeto, até a irrigação se torna desnecessária.

De acordo com Silva (2011), é mais difícil manter um jardim do que fazer o mesmo. Os principais cuidados com a preservação devem ser com a irrigação e as podas, que vão variar, principalmente, de acordo com a vegetação adotada. As plantas devem ser semelhantes para evitar que a rega seja feita planta a planta. Para facilitar o processo as plantas devem ser molhadas ao mesmo tempo.

Com isso, Krebs (2005), conta que, mesmo que as coberturas vegetais sejam uma ótima solução em regiões tropicais, nas épocas de seca é importante regar o sistema. Discorre ainda que a profundidade do substrato se relaciona diretamente com a frequência de irrigação. Segundo a autora, é possível entender que quanto menor for a camada de substrato maior será a frequência de irrigação, chegando a mais do que uma vez por dia em períodos de estiagem. Krebs (2005), ainda chama a atenção para que o projetista tenha cuidado na disposição do sistema de irrigação, de maneira que este não atrapalhe as podas e nem cheguem até as propriedades limdeiras.

Para evitar doenças nas plantas, muitas vezes causadas por fungos provenientes da alta umidade e calor no sistema, é necessário evitar irrigação excessiva e falta de sol. Se a doença for persistente pode ser um sinal de que a planta não consegue se adaptar ao jardim em questão sendo necessária uma possível remoção da mesma (SILVA, 2011).

A irrigação pode ocorrer de várias formas: através de aspersores (Figura 070), tubulações subterrâneas, gotejamento (Figura 071) e, no caso dos telhados verdes extensivos laminares, por capilaridade (Figura 072), onde a raiz da planta fica diretamente em contato com a lâmina d'água logo abaixo da vegetação e do substrato. De maneira geral, cada tipo de irrigação deve ser adaptada ao sistema de telhado verde ao qual ela esteja vinculada. As condições climáticas, quantidade de águas disponíveis, tipos de plantas e o impacto estético do sistema de irrigação junto ao telhado verde são itens que deverão ser considerados na concepção do projeto.

Em climas com bons índices de precipitação o sistema de telhado verde extensivo laminar, combinado com a utilização de gramíneas ou outras plantas com

raízes pouco profundas, pode ser uma opção bastante satisfatória, pois sua mecânica é simples e passiva. Durante o período de estiagem é necessária uma eventual rega. Para tornar o sistema fundamentalmente sustentável é importante que, incorporado ao sistema de telhado verde, independentemente do tipo, existam um ou mais reservatórios de águas pluviais.



Figura 070– Aspersor

Fonte: Internet (https://br.habcdn.com/photos/business/medium/detalhe-do-aspersor-rotor_196922.jpg)

Figura 071– Gotejamento

Fonte: Internet (<http://www.pensamentoverde.com.br/wp-content/uploads/2013/09/img49-300x300.jpg>)

Figura 072– Capilaridade

Fonte: Internet (<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2016/03/pousada-telhado-verde.JPG>)

Podas da Vegetação

Para a extração das ervas daninhas que venham a aparecer nos telhados verdes é recomendada a poda anual de uma a duas vezes. Segundo Heneine (2008), também se faz necessário o corte dependendo da intensidade do crescimento da vegetação escolhida. Também é possível utilizar certos tipos de minerais no substrato para fazer a redução do desenvolvimento dessa vegetação indesejada (LOPES, 2007).

Silva (2011), conta que as plantas escolhidas devem ter crescimento semelhante para diminuir a manutenção da cobertura vegetada. Para o controle das ervas daninhas o autor ressalta que o ideal é eliminar as plantas fazendo um arrancamento manual.

As podas devem ocorrer periodicamente, de acordo com o tipo de vegetação adotada. Quando empregada a utilização de plantas que exijam aparo mecânico, como no caso de cortadores de grama e retocadores, deve se ter especial cuidado para não danificar a impermeabilização das platibandas adjacentes ao telhado verde. Uma possível técnica para evitar este tipo de atrito é utilizar, nas bordas periféricas da

cobertura vegetal, outro tipo de material ornamental como pedriscos, seixos ou cascas de árvores ou até mesmo arbustos (Figura 073).



Figura 073– Bordas periféricas de um telhado verde

Fonte: Internet (<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/9c/86/75/9c867554d534133afe5b3b191379c5da.jpg>)

4 AS PROPRIEDADES DO SISTEMA DE TELHADO VERDE E OS ATRIBUTOS GERAIS INTEGRADOS À SUA IMPLANTAÇÃO

4.1 Características do Sistema de Telhado Verde Extensivo

Segundo Rogers e Gumuchdjian (2015) a cidade é o epicentro da sustentabilidade e em nenhum outro lugar a implementação destes conceitos pode ser maior e mais benéfica. As cidades atuais estão produzindo uma desastrosa instabilidade social, culminando no declínio ambiental. É crescente o número de habitantes abaixo da linha da pobreza no mundo. Uma grande parcela desses habitantes vive em zonas desfavoráveis, com alto nível de pobreza ambiental, continuando o ciclo de destruição e poluição. Segundo os autores, as cidades estão fadadas a abrigar parcelas cada vez maiores dessa população.

Para Edwards (2013), uma grande parcela de um projeto sustentável envolve economia de energia e análises de ciclo de vida do material, visando o equilíbrio entre o capital investido e os custos em longo prazo. Para o autor, projetar de forma sustentável também envolve o desenvolvimento de espaços saudáveis, economicamente viáveis e atentos as necessidades sociais. Conforme Edwards (2013), projetar de forma sustentável "significa respeitar os sistemas naturais e aprender por meio dos processos ecológicos" (EDWARDS, 2013, p.03).

As técnicas sustentáveis devem estar cada vez mais incorporadas à construção civil. Segundo Savi (2012) o telhado verde colabora na redução dos impactos ambientais em construções novas e existentes. Ainda destaca que o custo de um telhado verde pode ser parecido com o de um telhado convencional com telhas cerâmicas. Algumas das principais características do telhado verde vinculadas às práticas sustentáveis devem ser vistas a seguir.

4.1.1 Gerenciamento de Águas Pluviais

A migração da população humana para as grandes cidades exerce uma enorme pressão sobre o solo edificado, as energias disponíveis e a água, assim como sobre a capacidade de tratamento de resíduos (EDWARDS, 2013). O crescente uso de superfícies impermeáveis no solo urbano prejudica a percolação das águas pluviais. Essas águas não absorvidas pelo solo são escoadas carregando vários tipos de poluentes, entre eles fezes de animais, alcatrão e combustíveis e óleos residuais de veículos (ROAF, FUENTES e THOMAS, 2007).

O consumo excessivo de água potável está diretamente ligado a escassez deste recurso e também contribui nas mudanças climáticas e no esgotamento de combustíveis. Segundo Moxon (2012) o suprimento de água em alguns países vem se tornando um desafio para as autoridades competentes. Em contrapartida, a abundância de água em algumas regiões também pode ser um problema devido às enchentes previstas pelo aquecimento global.

Para resolver esses problemas se faz necessária não só uma diminuição do uso indiscriminado da água como também uma preocupação com a armazenagem deste recurso. Segundo Pinto (2014), as coberturas ajardinadas podem vir a ser uma proposta interessante para a redução do escoamento superficial e gestão das contribuições pluviais para as redes de drenagem das cidades.

Um dos grandes problemas das coberturas convencionais é o escoamento das águas oriundas de chuvas e seu respectivo destino nas redes pluviais das cidades. Os benefícios inerentes do telhado verde devem ser incorporados às práticas de aproveitamento da água da chuva. A água de um telhado verde não escoar tão rapidamente e geralmente é retida num recipiente de armazenamento. Deve-se observar a qualidade dessa água, pois dependendo da qualidade do substrato utilizado no telhado verde é possível reter poluentes (FERREIRA e MORUZZI, 2007). Segundo Snodgrass e McIntyre (2010) o telhado verde é uma escolha efetiva para regiões com problemas de enchentes justamente por ajudar no controle da vazão da água que flui para as bacias hidrográficas naturais.

Segundo uma pesquisa realizada por Baldessar (2012) o telhado verde têm, comprovadamente, uma capacidade de redução acentuada de escoamento pluvial demonstrando uma eficácia ao suprir a necessidade de escoamento em locais de baixa permeabilidade (Tabela 01). Em estudo realizado por Castro (2011), o uso de cobertura vegetal em lajes planas pode proporcionar uma melhor distribuição do escoamento pluvial superficial através da diminuição da velocidade de liberação do excesso de água retido nos poros do substrato. Outro fator é a redução do volume de água escoado, uma vez que o telhado verde é composto por plantas que acabam por reter uma parcela da água.

TOTALIZAÇÃO DE ÁGUA ESCOADA - EXPERIMENTO					
	Água escoada mm	Água escoada mm	Água escoada mm	Água escoada mm	
período	laje impermeável medido	telhado de barro medido	telhado verde medido	telhado verde simulação software	TOTAIS
nov 2011	8,2	3,7	0,3	5,2	total mensal (em mm)
dez 2011	109,8	85,1	29,1	36,2	total mensal (em mm)
jan 2012	78,7	61,2	21,3	12,1	total mensal (em mm)
fev 2012	128,3	101,2	49,0	55,0	total mensal (em mm)
	325,0	251,2	99,6	108,5	total geral (em mm)
	100,0	77,3	30,7	33,4	total geral (em %)

Tabela 01 – Comparativo de escoamento de água pluvial
Fonte: Baldessar (2012)

Segundo Van Lengen (2104), existe uma necessidade em se projetar pensando em um reuso de águas provenientes de chuvas. Castro (2011) ressalta que, no que diz respeito à utilização da água pluvial que passar por um sistema de telhado verde, deve ser levado em consideração o aumento de substâncias que tornam esta água imprópria para o consumo humano, devendo manter sua utilização para fins não potáveis. Estas instruções também fazem parte do que dizem Vijayaraghavan, Joshi e Balasubramanian (2012), que destacam que as águas provenientes de escoamento em sistemas de telhado verde vêm carregadas de metais leves como sódio, potássio, cálcio e magnésio. Uma parcela de ferro, cobre e alumínio também pode ser encontrada. É possível observar que o telhado verde vaza alguns nutrientes como nitrato e fosfato. O autor ainda ressalta a importância de sistemas que consigam mitigar, se não eliminar este problema para melhorar a qualidade da água escoada pelo sistema de telhado verde.

Levando em consideração as características do sistema de telhado verde quanto ao gerenciamento de águas pluviais, é possível entender que este sistema se torna bastante benéfico se comparado ao telhado convencional (Figura 074). O telhado verde funciona como um grande coletor de água da chuva e parte desta água fica retida nas plantas e substratos. Isso ocasiona uma diminuição considerável na quantidade de escoamento de águas pluviais nas ruas e sarjetas, evitando uma sobrecarga nos sistemas públicos de drenagem e possíveis alagamentos e formação de espelhos d'água nas vias. Além disso, essas águas são, na maioria das vezes, conduzidas para reservatórios e cisternas, prevendo um uso posterior ou, no caso de telhados verdes laminares, partes destas águas ficam retidas na cobertura e são

utilizadas para nutrir a vegetação. Neste caso a água também funciona como isolante térmico, reduzindo o calor que entre e sai da edificação.

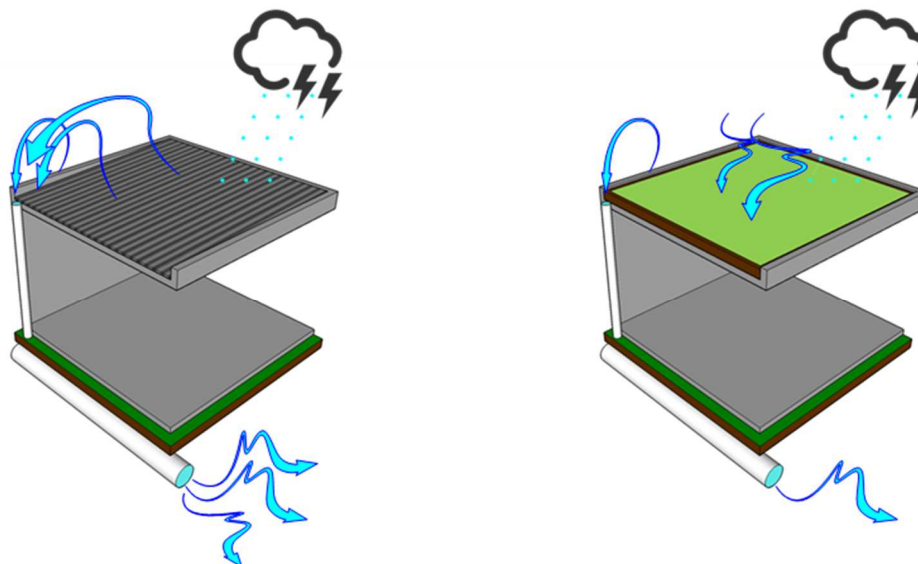


Figura 074 – Esquema Comparativo do Escoamento de Águas Pluviais entre Telhado Verde e Telhado Tradicional
Fonte: Autor

4.1.2 Durabilidade do Sistema

Segundo Queiroz (2008), a intensa variação térmica sofrida pelas coberturas das edificações pode provocar movimentações dos materiais utilizados no sistema. Essas movimentações, chamadas de dilatações térmicas, podem ocasionar fissuras na alvenaria e nos revestimentos. Essas fissuras, por vezes, podem se tornar possíveis pontos de infiltração de água na estrutura da edificação.

Segundo Gatto (2012) as coberturas vegetadas são excelentes protetoras da camada impermeabilizantes, principalmente se comparadas aos telhados convencionais, cobertos com diferentes tipos de telha ou mesmo lajes impermeabilizadas. As plantas, substratos, a água, e os outros componentes do telhado verde ajudam a moderar sua temperatura. Não apenas a cobertura vegetal deixa o local mais agradável, mas também funciona como uma proteção para a membrana de impermeabilização, pois por ter maior estabilidade térmica, os efeitos extremos de degradação devido às dilatações térmicas são amenizados (SNODGRASS e McINTYRE, 2010).

Uma das maiores preocupações dos usuários envolvendo o sistema de coberturas vegetadas é referente à sua capacidade de se manter estanque, principalmente quando exposto a uma larga quantidade de água. Segundo Heneine (2008), o telhado verde funciona como retardador do envelhecimento dos materiais impermeabilizantes, uma vez que o sistema sofre pouca oscilação térmica e atinge uma alta proteção da membrana impermeabilizante tornando essa camada muito pouco suscetível a rompimentos. Heneine (2008) ainda discursa que a impermeabilização efetiva é um pré-requisito essencial para todo tipo de cobertura. Todo e qualquer cuidado não devem ser considerados demasiados para manter a impermeabilização incólume, evitando assim problemas futuros com infiltrações.

É importante lembrar que o sistema é composto por vários elementos, sendo a impermeabilização o mais intrincado e dispendioso dos componentes. Um cuidado extremo deve ser tomado para evitar que a camada impermeabilizante sofra furos e rupturas durante a instalação dos demais componentes. Também é necessário um cuidado com esta camada durante as manutenções gerais do sistema de telhado verde, principalmente as podas e possíveis trocas de componentes que podem ocorrer durante a vida útil da edificação.

4.1.3 Influências na Estrutura da Edificação

Um telhado verde pode ser executado em diversos tipos de cobertura. A maior condicionante para efetuar esse sistema, em termos estruturais, é a capacidade de carga da base onde esse telhado verde deverá ser implantado. Segundo Gatto (2012), em projetos de reforma devem ser executados reforços estruturais, quando necessário e, em novos projetos, é necessário entender qual sistema deverá ser executado para calcular a carga excedente proporcionada pelo telhado verde. Segundo Heneine (2008), as coberturas verdes extensivas são relativamente leves, não acrescentando grande quantidade de esforços por parte das estruturas e, em geral devem ficar dentro da capacidade de carga suportada por estruturas normalmente dimensionadas.

Para calcular e dimensionar uma cobertura verde é necessário levar em consideração todos os elementos que fazem parte da sua composição. De acordo com Gatto, o componente mais relevante para o cálculo de carregamento e sobrecargas deve ser a camada de substrato, pois é a camada com maior peso

específico. As camadas drenantes também podem ter um peso acentuado. Entretanto, em sistemas "laminares" modulados, o fator a ser considerado é a água, já que neste tipo de sistema ela forma uma camada acima da superfície da cobertura. Neste caso, o peso vai variar de acordo com a altura da lâmina d'água. Contudo, segundo Gatto (2012), em nenhum dos casos o telhado verde deve pesar muito mais do que uma estrutura composta por um telhado de telhas cerâmicas.

De maneira geral, o sistema de telhado verde extensivo não requer uma estrutura mais robusta do que um telhado tradicional com telhas cerâmicas. Com isso, o custo estrutural da obra de uma edificação com telhado verde não deve ser diferente do habitual.

4.1.4 Impactos no Consumo Energético e Desempenho Térmico

Atualmente, segundo Rogers e Gumuchdjian (2015), as cidades são consumidoras de três quartos de toda a energia do mundo e são responsáveis por também três quartos da poluição global. O impacto ambiental gerado pelo exagerado consumo de energia é um dos pontos mais alarmantes, amplamente debatidos no cenário atual e é o maior responsável pelas mudanças climáticas e o esgotamento dos recursos naturais. Segundo Moxon (2012), é imperativo reduzir o consumo de energia e considerar também a fonte provedora deste recurso.

O uso do sistema de telhado verde, segundo Susca, Gaffin e Dell'osso (2011) é capaz de diminuir a utilização de energia para resfriamento e aquecimento e, com isso, os picos de uso de energia. Sendo assim, a instalação do sistema pode ter efeitos positivos, não apenas em pequena e média escala, mas também pode contribuir para mitigação do efeito de ilhas de calor em centros urbanos.

Strapasson, Freitas e Santos (2010) discursam sobre os benefícios da implantação do sistema de telhado verde no que diz respeito à economia de energia embutida na edificação. Os materiais utilizados na construção da cobertura vegetal podem ter uma economia de 59% em relação ao consumo energético da fabricação de uma cobertura convencional com telhas. Esta informação revela que a implantação do sistema também gera uma economia de recursos ainda na fase de manufatura, seguindo assim os preceitos de sustentabilidade econômica. O autor ainda afirma que o telhado verde é um isolante térmico potencial que gera menor consumo de equipamentos de resfriamento e/ou aquecimento.

Segundo Jaffal, Ouldboukhitine e Belarbi (2012) o sistema de telhado verde funciona tanto em climas quentes quanto em temperaturas mais baixas. Os componentes envolvendo o sistema trabalham em conjunto para tornar a cobertura bastante efetiva como isolante térmico diminuindo o consumo energético. D'Orazio, Di Perna e Di Giuseppe (2012) constatam que no verão a implantação do sistema de telhado verde pode ser considerada produtiva por baixar a temperatura das superfícies. Este fenômeno acontece tanto na superfície do solo, onde mesmo nos dias mais quentes a temperatura tende a ser mais baixa do que o ar externo, quanto no teto da edificação devido à espessura e das características de baixa transmitância térmica dos componentes do sistema. No inverno o sistema produz um efeito de isolamento térmico que contribui na redução da dissipação do calor pela cobertura devido à diferença de pressão do ar quente que sobe e tende a se dissipar pelo teto da edificação.

Segundo Ouldboukhitine et al (2011) a transferência de calor através de um telhado verde é diferente de um telhado clássico. Isso ocorre principalmente por causa da vegetação. É significativa a influência da densidade da folhagem no comportamento térmico do sistema de cobertura vegetal. Em um estudo realizado por Jobim (2013) é possível entender a capacidade do telhado verde de se manter invariável em comparação a grande oscilação térmica sofrida por outros sistemas (Figura 075 e Tabela 02).

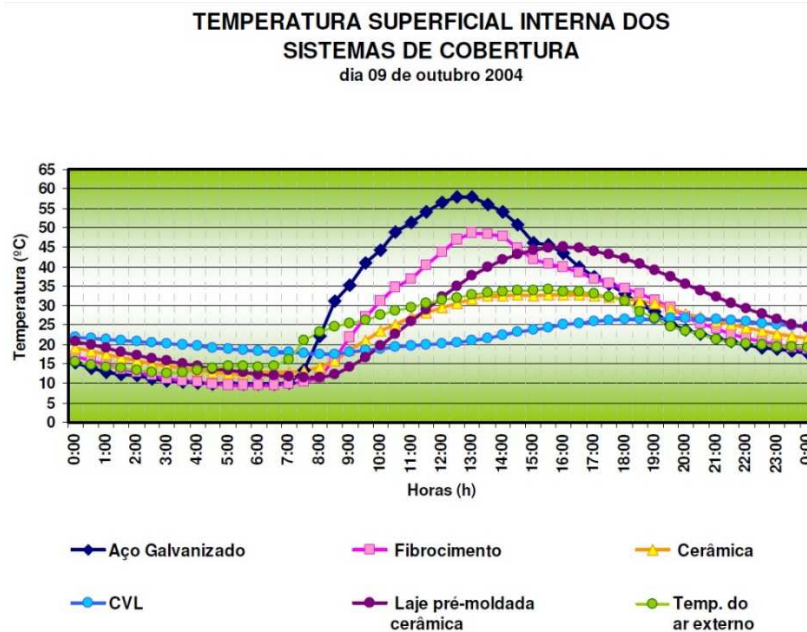


Figura 075 – Variação térmica de diferentes tipos de cobertura
Fonte: Jobim (2013)

SISTEMAS DE COBERTURAS		TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS		AMPLITUDE TÉRMICA (°C)	AMORTECIMENTO TÉRMICO
		MÁXIMAS (°C)	MÍNIMAS (°C)		
01	Aço Galvanizado	57,8	9,8	48,0	2,3*
02	Fibrocimento	48,6	9,5	39,1	1,8*
03	Laje pré-moldada cerâmica	45,0	11,5	33,5	1,6*
04	Cerâmica	32,8	12,5	20,3	0,9
05	CVL	26,7	17,5	9,2	0,4

* O amortecimento térmico não se aplica nesses casos devido a forte influência da radiação solar nestes sistemas de cobertura.

Tabela 02 – Temperatura interna em edificações com diferentes tipos de cobertura
Fonte: Jobim (2013)

Ferraz (2012) conclui que a edificação com cobertura vegetal apresenta uma menor flutuação de temperatura interna e umidade ao longo do dia se comparados a uma edificação portando uma cobertura de telha cerâmica. Ainda ressalta a qualidade de isolamento térmico do que sistema apresenta temperatura interna menor que a externa no calor e temperatura interna maior que a externa no frio. O telhado verde promove baixa variação de temperatura e umidade no ambiente e permite uma maior facilidade na obtenção do conforto térmico ambiental além de favorecer uma economia de energia através da diminuição do uso de dispositivos de condicionamento de ar.

Na Figura 076 é possível observar um esquema comparativo entre uma cobertura convencional com telhas metálicas e uma cobertura com telhado verde. O telhado verde absorve parte do calor irradiado pelos raios solares diminuindo o volume de radiação refletida pela cobertura vegetada, amenizando a quantidade de calor que entra na edificação.

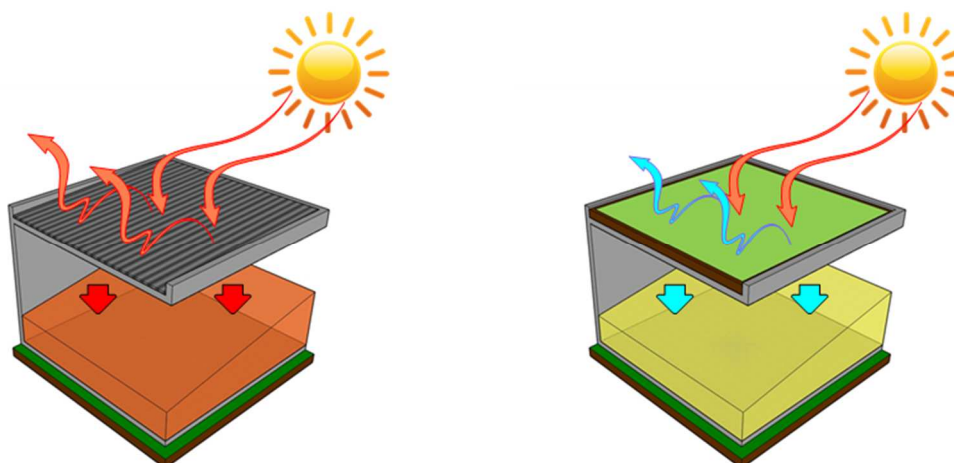


Figura 076 – Esquema Comparativo da Sobrecarga Térmica entre um Telhado Verde e um Telhado Tradicional
Fonte: Autor

4.1.5 Desempenho Acústico

Segundo Carvalho (2010) o aumento populacional dos núcleos urbanos e as tecnologias e culturas envolvendo este crescimento têm contribuído de forma contundente em questões relacionadas ao conforto acústico. As construções e os materiais utilizados estão em uma constante busca de melhorias na qualidade. Existe uma grande preocupação envolvendo barulhos e ruídos.

Ao sistema de telhado verde ainda pode se atribuir a qualidade de isolante acústico. Segundo Van Renterghem e Botteldooren (2011) o sistema de cobertura vegetal pode contribuir significativamente na redução de som. É o mesmo que diz Connelly (2008) afirmando que o telhado verde pode ser utilizado como ferramenta para melhorar não só o conforto térmico, mas também o acústico ambiental. Segundo Gatto (2012) a vegetação ajuda no isolamento acústico, pois as plantas reduzem o ruído mediante a absorção da energia sonora transformando em energia de movimento e calórica, reflexão e dispersão. De acordo com a autora, em uma comparação, a grama absorve mais ruídos do que um tapete de feltro.

4.1.6 Ecossistemas Integrados

Oberndorfer et al(2007) discursa sobre o telhado verde extensivo e sua capacidade de imitar um ecossistema natural. Esse tipo de sistema em particular tem potencial de abrigar uma biodiversidade de habitantes de solo raso, além de proporcionar benefícios para a saúde humana. Segundo Gatto (2012) a

implementação da cobertura vegetada desenvolve uma maior integração da edificação com a paisagem se ajustando mais facilmente ao entorno.

Uma das maiores ameaças para a saúde humana é a poluição do ar em zonas urbanizadas. Estudos realizados em Chicago por Yang, Yu e Gong (2008) comprovam que é possível utilizar as coberturas vegetais como forma de purificação do ar. A camada vegetal funciona como filtro natural de CO₂ e quanto maior e mais densa for a vegetação da cobertura, maior seria sua efetividade. Contudo, deve-se ponderar sobre a utilização do sistema isoladamente, pois seu custo poderia ser muito elevado. Além desse fator, Gatto (2012) discorre sobre o tipo de vegetação empregada em um telhado verde e o possível uso de ervas silvestres que geram aromas agradáveis e favorecem o entorno da edificação.

Segundo Bianchini e Hewage (2012) a instalação do sistema de telhado verde extensivo pode gerar benefícios pessoais e sociais. O potencial de rendimento do sistema é muito maior que suas possíveis perdas. Quando levado em conta os benefícios sociais e o tempo de vida estimado do sistema, o custo benefício é um dos seus maiores atrativos. Heneine (2008) considera que existe um desequilíbrio nas zonas povoadas e que as coberturas vegetadas são vitais no auxílio da continuidade e permanência da natureza em áreas urbanas muito edificadas.

4.1.7 Ilhas de Calor

Em 2003, a organização mundial da saúde (OMS) divulgou que o aquecimento global estaria causando a morte de 150 mil pessoas por ano. As causas seriam atribuídas as variações do nível do mar por afetar a produção agrícola e produzir escassez de chuvas e a evaporação das reservas de água potável. Além desse fator, a utilização de combustíveis fósseis para aquecimento, iluminação e condicionamento de ar das edificações é atribuída 50% do aquecimento global. Os meios de transporte seriam outro fator que contribui em torno de 25% para agravar esta crise. Por estas circunstâncias, Edwards (2013), considera de extrema importância a interação entre o desenho urbano, o planejamento urbano e o projeto arquitetônico.

Segundo Susca, Gaffin e Dell'Osso (2011) as coberturas consistem em uma área relativa a 20 à 25% da superfície urbana. Uma conversão em larga escala, de telhados convencionais para telhados verdes, poderia contribuir para ambos, macro e micro escalas.

A área per capita dedicada a áreas verdes em muitas zonas urbanizadas é constantemente muito distante do necessário para as necessidades humanas no que se refere à ambientes vegetados. Segundo Van Lengen (2014), as áreas verdes são de extrema importância para uma cidade, pois elas podem ser consideradas como "pulmões" dos centros urbanos. Para tornar um ambiente fresco e arejado é preciso plantar uma quantidade considerável de vegetação. Com a implantação do sistema de coberturas vegetadas seria possível suplantando parte desta necessidade melhorando assim a qualidade de vida de seus usuários (SOMEH, BARIZI e AZIM, 2014).

Segundo Gatto (2012), em trechos densamente urbanizados a temperatura no verão pode atingir de 4 a 11°C a mais do que nos subúrbios e em trechos ajardinados isso não ocorre. Além de auxiliar no controle da temperatura, o ajardinamento também ajuda a amenizar as variações de umidade do ar. As plantas podem, através da evaporação e da condensação de água reduzir as oscilações da temperatura. Segundo a autora, o substrato armazena parte do calor auxiliando ainda mais no processo de suavização do microclima. O sistema de telhado verde pode contribuir de forma efetiva para criação de microclimas mais equilibrados e colaborar na redução das ilhas de calor nos grandes aglomerados urbanos.

Conforme revelado, é possível entender o efeito benéfico da vegetação em áreas urbanas e o auxílio inerente que o sistema de telhado verde pode ter na mitigação de "ilhas de calor" acentuadas pela refletância e absorção dos raios solares nas coberturas das edificações, geralmente portadoras de sistemas tradicionais de cobertura.

4.2 Telhado Verde e os Pilares da Sustentabilidade

Com a crescente preocupação com as políticas de sustentabilidade é possível evidenciar um aumento nas medidas de economia implantadas em obras e projetos diretamente ligados a construção civil. Segundo Edwards (2013), a definição de sustentabilidade está em constante evolução e vem se aprimorando ao longo de inúmeros congressos mundiais. Esses conceitos envolvem não apenas a construção civil, mas todos os recursos utilizados na desenvoltura das atividades cotidianas. Ainda segundo o autor, é possível utilizar algumas definições chave para o projeto sustentável:

- Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, em comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazer suas próprias necessidades (BRUNDLAND, 1987, apud EDWARDS, 2013).

- Projeto sustentável é a criação de edificações eficientes do ponto de vista energético, saudáveis, confortáveis, de uso flexível e projetadas para terem uma longa vida útil (FOSTER + PARTNERS, 1999, apud EDWARDS, 2013).

- Construção sustentável é a criação e gestão de edifícios saudáveis, baseados em princípios ecológicos e no uso eficiente dos recursos (BSRIA, 1996, apud EDWARDS, 2013).

- Materiais sustentáveis são materiais e produtos construtivos saudáveis, duráveis, eficientes em relação ao consumo de recursos e fabricados de forma a minimizar o impacto ambiental e maximizar a reciclagem (EDWARDS, 2004 apud EDWARDS, 2013).

O sistema de telhado verde utiliza materiais saudáveis, duráveis e eficientes, sendo, por vezes, a vegetação e os substratos utilizados no sistema, coletados próximos ao local da sua implantação. Seu projeto e construção são pensados de forma ecológica de modo que, durante a sua vida útil este sistema tenha um baixo impacto econômico e ambiental. Sendo assim, é possível compreender o sistema de telhado verde como uma ferramenta capaz de ser aplicada utilizando os preceitos acima enumerados. Como ressaltado previamente neste trabalho, o sistema de telhado verde vem sendo implantado em diversos países e, além das características supracitadas, sua utilização pode ser compreendida numa escala mais abrangente a seguir. Segundo Rosseti et al (2013) a implantação de um telhado verde na escala da cidade traz benefícios estéticos, transformando a paisagem urbana moldando áreas de pouco uso em áreas verdes multifuncionais. Ainda ressalta que mesmo que o custo inicial da instalação de um telhado verde possa ser mais elevado, estudos apontam que, devido a redução do consumo energético, por ter melhor desempenho térmico, o sistema possui um bom custo benefício.

4.2.1 Tendências, Desafios e Possibilidades

Algumas das medidas de sustentabilidade buscam desempenhar um importante papel de conscientização perante a sociedade. Segundo Gauzin-Müller

(2011), o poder público, buscando um desenvolvimento sustentável, ainda deve seguir os grandes princípios do direito ambiental - precaução; prevenção; correção na origem; apontar o agente poluidor como responsável pela reparação dos danos e; empregar as melhores técnicas disponíveis. Um governo consciente pode fazer uma enorme diferença nas mudanças de hábito da população, visando um desenvolvimento urbano, ambiental, econômico e social sustentável.

Segundo Rogers e Gumuchdjan (2015) as cidades foram criadas para satisfazer as necessidades humanas e sociais das comunidades. As cidades são o reflexo dos valores, compromissos e resoluções de seus próprios habitantes.

Segundo Campbell (2015), é muito difícil pensar na cidade como um todo sem levar em consideração a experiência coletiva, pois viver na cidade é viver coletivamente. A cidade não pode existir se não houver trocas, aproximações e proximidades. A cidade é uma entidade criadora de relações. De acordo com a autora, a arquitetura e o urbanismo são responsáveis pela criação de experiências envolvendo formas e percepções. Mais do que estruturas arquitetônicas e espaços, são criadores de lugares.

Na França (Figuras 077 e 078), o uso do telhado verde ou de painéis solares na cobertura dos prédios se tornou obrigatório devido aos seus benefícios, principalmente relacionados à economia energética (BARATTO, 2015). Segundo Gaete (2014), com o intuito de minimizar a emissão de carbono gerada pela urbanização, a cidade de Copenhague na Dinamarca (Figuras 079 e 080) também adotou o uso do telhado verde como medida projetual para amainar os impactos da urbanização e colaborar na captura de carbono e trazer um maior controle no escoamento pluvial.

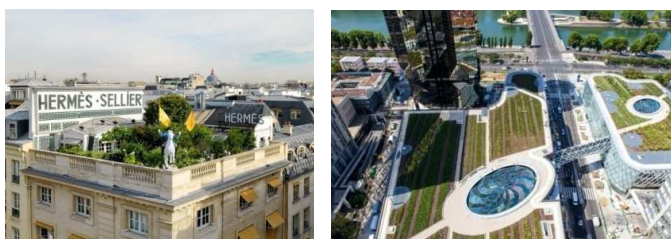


Figura 077 - Telhado Verde da Hermes - Paris, França

Fonte: Internet (<http://2.bp.blogspot.com/-iJOBNLGVFHc/VAoQOEaRzPI/AAAAAAAAAf4c/VHJAcj5adoM/s1600/teto%2Bverde%2Bem%2BParis.jpg>)

Figura 078 - Centro Comercial de Beaugrenelle - Paris, França

Fonte: Internet (http://2.bp.blogspot.com/-jB_Q1EQ7Uz8/VAoQel2ezXI/AAAAAAAAAf4k/85KfD-vrCGk/s1600/shopping%2Bcom%2Bjardim%2Bsuspensao%2BParis.jpg)



Figura 079 - Big 8 WindsweptHouse - Copenhagen, Dinamarca

Fonte: Internet (http://worldgreenroofcongress.com/wp-content/uploads/2012/05/8H_Image-by-Drakor-Luftfoto_01.jpg)

Figura 080 - Tivoli Hotel - Copenhagen, Dinamarca

Fonte: Internet (http://www.archello.com/sites/default/files/imagecache/media_image/DSC0214_2.jpg)

Fora do contexto europeu, outras culturas já estão reconhecendo as vantagens de um desenvolvimento sustentável e aderindo às práticas de instalação do sistema de coberturas vegetadas. Em 2013, com a intenção de incorporar práticas de sustentabilidade, o governo de Buenos Aires, na Argentina (Figura 081), aprovou uma lei onde pode haver uma diminuição de até 20% para o imposto de prédios com telhado verde em seus terraços e lajes (CARMO, 2013).



Figura 081 - Cobertura Vegetada na Faculdade de Direito da Universidade de Buenos Aires - Buenos Aires, Argentina

Fonte: Internet (<https://cubiertaverde.files.wordpress.com/2013/05/nov2013-41.jpg>)

O Brasil vem desempenhando um papel importante junto à política de desenvolvimento sustentável, servindo de sede para grandes encontros destas particularidades. Em 2012, uma conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável ocorreu no Rio de Janeiro e foi denominada Rio +20. O principal objetivo dessa conferência foi o de renovar e reafirmar a participação dos países que fazem parte da ONU com relação ao desenvolvimento sustentável do planeta. Este acordo já vinha sendo firmado desde 1992 na conferência Rio 92 (BRASIL, 2015).

Em 2015 a cidade do Recife, no estado brasileiro de Pernambuco, também tornou medida obrigatória o uso de coberturas vegetadas em edificações com mais de quatro pavimentos ou com área de cobertura maior que 400m² (Figura 082). Estes conceitos foram impostos pelo próprio governo municipal como parte de um programa de boas práticas sustentáveis com a finalidade de melhorar a qualidade de vida e conscientizar os habitantes da cidade (RECIFE, 2015). Outras cidades brasileiras, como o caso de Curitiba (Figura 083), ainda aguardam a aprovação de projetos de lei prevendo a obrigatoriedade da implantação do sistema de coberturas vegetadas.



Figura 082 - Empresarial Charles Darwin - Recife, PE

Fonte: Internet (<http://sustentarqui.com.br/wp-content/uploads/2014/12/telhado-verde-rio-ave-recife.jpg>)

Figura 083 - Núcleo SENAI de Sustentabilidade - Curitiba, PR

Fonte: Internet

(http://images.adsttc.com/media/images/5254/0145/e8e4/4e67/bf00/0607/slideshow/IMG_8073.jpg?1381237045)

Em contrapartida a estes progressos, na cidade de São Paulo, recentemente uma proposta, aprovada pela Câmara de Vereadores, que criava a obrigatoriedade da utilização do sistema de telhados verdes em prédios de três ou mais andares, foi vetada pelo prefeito Fernando Haddad. Segundo um ofício publicado no Diário Oficial, a negativa precedeu, pois, segundo o prefeito, a obrigatoriedade poderia inviabilizar a construção de Habitações de Interesse Social por elevar o valor das mesmas (PINHO, 2015). Entretanto, existem vários exemplares do sistema de coberturas vegetadas em importantes edificações na cidade (Figuras 084 e 085).



Figura 084 - Edifício Matarazzo, sede da Prefeitura - São Paulo, SP

Fonte: Internet (<http://s2.glbimg.com/1EqG1w1zLqD64C7jtFqjL-w29Zw=/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2015/10/06/telhado-verde-5.jpg>)

Figura 085 - Edifício Gazeta na Av. Paulista - São Paulo, SP

Fonte: Internet (<https://queminova.catracalivre.com.br/wp-content/uploads/sites/2/2014/04/Paulista-1.jpg>)

Mesmo com os benefícios da implantação do sistema de telhado verde, muitos projetistas preferem utilizar materiais mais convencionais na cobertura das edificações. O telhado verde é, por vezes, alvo de difamações por uma falta de material técnico e, principalmente, carência de mão de obra qualificada. O telhado com cobertura vegetal é geralmente mais agradável do que seus homólogos cobertos por asfalto ou outro material mais convencional. Contudo, a implantação deste sistema pode interferir na estética do projeto e isto deve ser considerado durante a elaboração conceitual da proposta.

Segundo Edwards (2013), a estética da sustentabilidade é um conceito bastante nebuloso. Entretanto, o autor afere a beleza de um projeto sustentável à integração com o coletivo, onde o projeto deve ser desenvolvido juntando sua riqueza visual e diversidade espacial. De acordo com Gatto (2012), as coberturas vegetadas suavizam as paisagens dos grandes centros urbanos, pois possuem estética agradável e podem promover uma solução paisagística bastante inusitada. Considerando essas questões, é possível reconhecer um senso estético em vários projetos arquitetônicos que utilizam o telhado verde apenas como solução de cobertura (Figuras 086, 087 e 088), transparecendo uma grande integração com a paisagem (Figuras 089, 090, 091 e 092) e, em alguns casos mais nítidos, como conceito e solução formal do projeto (Figuras 093, 094, 095, 096 e 097)



Figura 086 – Garden House – La Estadía, México

Fonte: Internet

(http://www.archello.com/sites/default/files/imagecache/media_image/GARDEN_HOUSE__2.jpg)



Figura 087 – OutrialHouse – Ksiazynice, Polônia

Fonte: Internet (<http://cdn.thecoolist.com/wp-content/uploads/2010/03/OUTrial-House-by-KWK-Promes-1.jpg>)

Figura 088 – OutrialHouse – Ksiazynice, Polônia

Fonte: Internet

(http://images.adsttc.com/media/images/5010/1744/28ba/0d42/2200/09fb/large_jpg/stringio.jpg?1360856435)



Figura 089 – Casa Grelha, FGMF Arquitetos - Serra da Mantiqueira, SP

Fonte: Internet

(<http://images.adsttc.com/media/images/5745/52fb/e58e/ce0d/2800/000c/newsletter/04.jpg?1464161002>)

Figura 090 – Casa na Mata, Studio MK27 - Guarujá, SP

Fonte: Internet

([http://images.adsttc.com/media/images/577c/872e/e58e/ce98/2700/006c/slideshow/mk27_namata_fermandoguerra_medium\(39\).jpg?1467778844](http://images.adsttc.com/media/images/577c/872e/e58e/ce98/2700/006c/slideshow/mk27_namata_fermandoguerra_medium(39).jpg?1467778844))



Figura 091 – LookoutHouse – Guayllabamba, Equador

Fonte: Internet (<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2013/12/house-gazebo-ARC-Ecuador-mountainside-5.jpg>)

Figura 092 – LookoutHouse – Guayllabamba, Equador

Fonte: Internet

(http://images.adsttc.com/media/images/52a2/9b39/e8e4/4e90/be00/00f9/large_jpg/PORTADA.jpg?1386388247)



Figura 093 – HyparPavilion at Lincoln Center – Nova York, EUA

Fonte: Internet (<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2010/12/Hypar-Pavilion-at-Lincoln-Center-1.jpg>).

Figura 094 – Sky Garden House – Ilha Sentosa, Singapura

Fonte: Internet (https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcS1GHoHb2UI0XE2knuXCh_cupkuoT2dIPNkYVXEiwEGfmBMdRGV)

Figura 095 – Brooks Avenue House – Venice, Califórnia, USA

Fonte: Internet (<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/51/c4/6d/51c46d132262f3595be0706481672fe5.jpg>)



Figura 096 – Academia de Ciências da Califórnia - São Francisco, EUA

Fonte: Internet (<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcR8m-sAiqEofZUCYz1Vjq3F7Vv9hEedlq2qUjrjgkpxOq9WCnG>)

Figura 097 – Nanyang Technological University – School of Art, Design and Media – Singapura

Fonte: Internet (https://news.usc.edu/files/2015/03/Nanyang-Technical-University_Aar-V%C3%A4kev%C3%A4inen-824x549.jpg)

Além da boa estética o telhado verde ainda pode ter um efeito psicológico positivo, pois segundo Gatto (2012) a beleza natural pode influenciar positivamente o

estado de espírito do ser humano, trazendo sensações de relaxamento. De acordo com a autora, a integração do telhado verde com a paisagem pode fazer com que a edificação se ajuste mais facilmente ao seu entorno. Segundo Heneine (2008) a visão do verde pode ainda prevenir estados depressivos e aumentar o rendimento em qualquer tipo de atividade, pois seu efeito terapêutico é conhecido por reduzir o estresse da pressão arterial, aumentar os sentimentos positividade e aliviar tensões musculares.

Segundo Someh, Barisi e Azim (2014) quando os benefícios do sistema de telhado verde começarem a ficar mais evidentes e sua utilização demonstrar vantagens ficará mais fácil de ganhar maior consistência mercadológica. De acordo com Krebs (2005), existem controvérsias quanto ao custo financeiro de um telhado verde, pois depende de uma gama de componentes, sendo alguns deles encontrados no próprio local da obra, como no caso de substratos e vegetação. Segundo Gatto (2012) o telhado verde pode ser considerado econômico ao longo prazo por aumentar a vida útil da cobertura da edificação reduzindo efeitos deteriorantes causados pelos raios ultravioletas e assim diminuindo as oscilações térmicas que prejudicam os componentes do sistema.

Carter (2008) relata que o telhado verde possui o melhor custo benefício se comparado a um telhado tradicional com telhas cerâmicas. Isso ocorre devido às qualidades imbuídas no sistema, entre elas sua capacidade de reduzir o consumo energético. Com os custos de energia e a economia de água se tornando cada vez mais latentes aliados com a causa da sustentabilidade e uma aceitação cada vez maior desse conceito em domínios da construção civil, o sistema de telhado verde pode se provar de grande eficiência. Carter (2008), ainda ressalta que os projetistas devem incorporar cada vez mais o sistema de telhado verde em edificações de forma a aliviar os impactos ambientais da urbanização.

O uso de materiais e sistemas sustentáveis, além de imprescindível para as construções, também pode ser encaixado em um modismo contemporâneo de uma busca por uma vida mais saudável, ambientalmente responsável e econômica e socialmente consciente. Este conceito sustentável pode ser benéfico para a construção e, de acordo com Gatto (2012) agregar valor imobiliário as edificações. Entretanto, nem sempre é economicamente viável se tornar sustentável e outros quesitos devem ser avaliados para elaborar um projeto sustentável.

É possível utilizar sistemas de avaliação e certificação para mensurar o quanto sustentável uma edificação pode ser. Segundo Moxon (2012) existem processos que avaliam o projeto inteiro, como LEED¹, BREEAM² e Green Star. Entretanto, alguns processos podem ser menos abrangentes e servem para avaliar um aspecto particular do projeto tal qual um material, equipamento ou sistema. Os esquemas de avaliação total do projeto são geralmente desenvolvidos durante o estágio de elaboração do projeto e em alguns casos incluem verificações após a sua conclusão. As avaliações funcionam com *checklists*, geralmente marcando pontos de acordo com a categoria e o impacto ambiental de cada processo. A maioria das avaliações salientam as questões da sustentabilidade ambiental, contudo, em algumas delas as questões sociais e econômicas também são levadas em consideração.

O telhado verde pode ser considerado um item de sustentabilidade em projeto em avaliações como LEED por somar uma grande quantidade de pontos em seu *checklist*. Segundo Gatto (2012) a instalação do sistema de telhado verde pode vir a valorizar a edificação, acrescentando valor monetário por introduzir um componente portador de um efeito estético subjetivo, altamente valorizado pela consciência humana e por se tratar de um elemento conciliatório com o meio ambiente, além de aumentar a área útil sem aumentar a área construída.

¹LEED - A Leadership in Energy and Environmental Design é administrado pelo U.S. Green Building Council. É predominante na América do Norte e pode ser aplicada em outros países. Abrange uma variedade de tipos de edificações, inclusive interiores comerciais, escolas, varejo, espaços de saúde e residenciais, tanto novas construções como espaços existentes. Esta avaliação abrange todos os estágios de uma edificação, desde o projeto até a construção e operação. <www.usgbc.org/leed> (MOXON, 2012).

²BREEM – O Building Research Establishment Environmental Assessment Method é baseado no Reino Unido e bastante utilizado na Europa. Abrange praticamente as mesmas modalidades e tipologias do LEED. Deve ser aplicado nas fases de projeto, pós-construção e de operação. Nesta certificação a energia possui o valor mais alto entre os quesitos de avaliação. www.breeam.org (MOXON, 2012).

5 RESULTADOS

A partir do entendimento da sustentabilidade como uma busca de equilíbrio entre os pilares econômico, social e ambiental e pensando no sistema de telhado verde dentro deste prisma, é possível identificar aspectos relevantes que tornam o telhado verde um sistema de arquitetura sustentável. Os resultados obtidos por meio da análise da revisão bibliográfica podem ser observados a seguir onde são expostos na forma de texto e ilustrações, apresentando informações obtidas através dos capítulos 2 e 3 do presente documento.

Orientações para a construção de uma cobertura vegetada

Através da comparação na Figura 098 é possível entender que existem diferentes tipos de telhado verde extensivo e mais de uma maneira de executar este sistema. A quantidade de componentes do sistema pode variar, de acordo com os materiais utilizados. Dependendo do tipo de material utilizado na camada de impermeabilização, não se faz necessário o uso de Proteção Mecânica e nem de Camada Anti – Raiz. Contudo, o uso das duas proteções é recomendado. O sistema mais “tradicional” de telhado verde não reserva água na cobertura, sendo estes efluentes conduzidos diretamente para os ralos e drenos. Já o sistema compreendido como “laminar” é projetado para formar um reservatório de água na cobertura.



Figura 098– Telhados verdes extensivos - "tradicional" e "laminar"
Fonte: Autor

Após a escolha do tipo de sistema e os materiais a serem utilizados, é necessário tomar todos os cuidados necessários para que nenhum dos componentes do telhado verde seja ignorado e que todos sejam instalados de acordo com as especificações técnicas de cada material. O esquema das camadas de materiais que compõe o sistema de telhado verde extensivo pode ser visto na Figura 099 e um

exemplo dos passos para construção de um telhado verde pode ser observado a seguir.



Figura 099 – Possível composição de uma cobertura vegetalizada
Fonte: Autor

Impermeabilização da cobertura	<p>Todos os cuidados devem ser tomados para que a cobertura esteja 100% estanque. Se faz necessário um cuidado especial com a impermeabilização das emendas, das platibandas e dos drenos e ralos, pois estes são possíveis pontos de infiltração de água na estrutura. Depois de pronta, a impermeabilização deve ser testada. O teste se dá, geralmente com o fechamento dos drenos e ralos, e o preenchimento da cobertura com água até um nível um pouco acima do nível final do telhado verde, testando a impermeabilização para o caso de entupimento dos ralos e drenos e formação de espelho d'água acima do nível do telhado verde. A água deve permanecer na cobertura por pelo menos duas semanas. Possíveis infiltrações devem ser tratadas como uma manutenção corretiva da camada de impermeabilização. Se houver qualquer vazamento o mesmo deverá ser corrigido e deverão ser efetuados novos testes até que o problema da infiltração de água seja corrigido. Depois de comprovada a estanqueidade da camada de impermeabilização o sistema estará pronto para receber os outros componentes.</p> <p>Uma eventual manutenção corretiva pode ser necessária nesta camada, e isto deve ser levado em consideração durante a escolha do tipo de sistema a ser adotado. Sistemas mais leves, com a camada de substrato menor, e com menos componentes, tendem a ter uma manutenção menos dispendiosa.</p>
Proteção Mecânica	<p>A proteção mecânica é um concreto magro, similar à um contrapiso, que impede o contato direto dos outros componentes com a camada de impermeabilização e, quando utilizada, deve ser executada sob esta camada. Nem sempre este componente será utilizado, principalmente se a impermeabilização for feita com de material polimérico como a Geomembrana ou quando o sistema for constituído por módulos de piso elevado.</p>
Proteção Anti-Raiz	<p>A proteção - anti-raiz é geralmente composta por manta têxtil ou termo plástica e impede que as raízes entrem em contato com a impermeabilização e causem possíveis pontos de infiltração de água para o interior da estrutura da edificação. Deve ser aplicada sob a camada de impermeabilização ou, quando houver, sob a proteção mecânica.</p>

Camada Drenante	<p>A camada drenante afasta o substrato do contato direto com a cobertura impermeabilizada e ajuda a conduzir as águas pluviais para os drenos e ralos. Podem ser executadas com argila expandida, isopor e outros materiais. No caso de telhados verdes laminares, a camada drenante é composta por módulos poliméricos que têm o mesmo objetivo de afastar o substrato da cobertura e, além disso, formar uma lâmina d'água servindo de isolante térmico e irrigação por capilaridade. Os sistemas de drenos e ralos do telhado verde laminar devem ser construídos prevendo a altura máxima de água que deverá ficar acumulada na cobertura. As águas excedentes devem ser escoadas para os sistemas de drenagem da edificação.</p>
Camada Filtrante	<p>A camada filtrante tem a função de reter pequenas partículas, humos e materiais orgânicos, deixando estes disponíveis para as plantas. A camada filtrante também ajuda a manter a camada drenante e o escoadouro livre de resíduos. Em algumas situações, a vegetação e o substrato podem estar integrados à camada filtrante, com as raízes das plantas fixadas na referida camada.</p>
Substrato	<p>A escolha do substrato depende, principalmente, do tipo de vegetação utilizado na implantação do sistema de telhado verde na cobertura da edificação. O solo ideal não deve ser muito argiloso e deve ser misturado com areia para que haja um maior espaço para enraizamento das plantas e o substrato fique mais leve e com maiores características drenantes. Quanto menos substratos, mais próximas da água devem estar às raízes das plantas para que não haja falta de nutrientes. Para alguns sistemas, como no caso do telhado verde extensivo laminar, é possível encontrar a vegetação cultivada na própria manta de camada filtrante, juntamente com uma pequena camada de substrato, facilitando a manutenção e a substituição.</p>

Vegetação	<p>A vegetação deve ser escolhida tendo em vista vários fatores. Entre os principais é possível destacar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - o uso e a inclinação da cobertura; - as características climáticas do local de implantação; - o tipo e a profundidade do substrato; - tipo de manutenção preventiva – irrigação e podas. <p>Em telhados verdes extensivos os tipos mais utilizados de vegetação são as rasteiras, com raízes pouco profundas, pois a camada de substrato não deve ser muito alta para este tipo de sistema. Além disso, o telhado verde extensivo é bastante empregado em terraços com acesso ao público, requerendo uma vegetação que permita o pisoteio.</p> <p>A vegetação é o item da estrutura do sistema de telhado verde que requer manutenção preventiva. Observados os fatores supracitados, deve se levar em consideração as podas periódicas e o tipo de irrigação necessário para que a vegetação instalada no sistema de telhado verde permaneça saudável e sem necessidade de substituição.</p>
-----------	--

Tabela 03 – Componentes do Sistema de Telhado Verde
Fonte: Autor

Relação entre os conceitos de sustentabilidade e os benefícios da implantação do sistema de telhado verde

A implantação do sistema de telhado verde em cobertura de edificações pode trazer uma alta gama de vantagens, principalmente se levarmos em conta os conceitos de sustentabilidade. Alguns destes benefícios podem ser mais perceptíveis e outros mais subjetivos. Na Figura 100 é possível observar o esquema de um provável funcionamento do sistema de telhado verde e como seus benefícios operam e se relacionam com os conceitos de sustentabilidade.

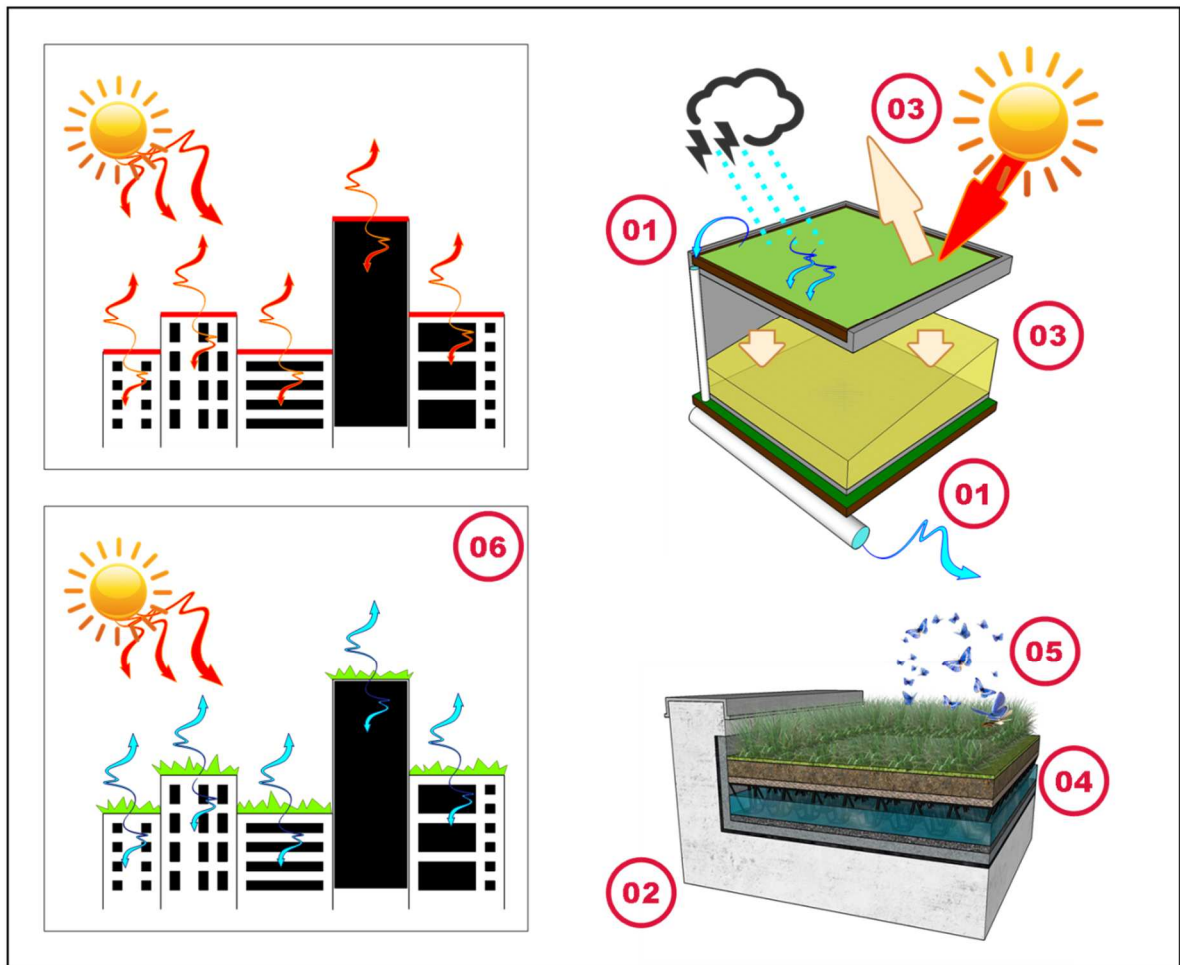


Figura 100 – Benefícios do Sistema de Telhado Verde
Fonte: Autor

<p>1 - Gerenciamento de Águas Pluviais</p>	<p>O telhado verde pode funcionar como sistema de armazenamento de águas pluviais, direcionando parte dessa água para cisternas e reservando outra parte para fazer a irrigação natural do sistema. Eventualmente, em sistemas "laminares", a própria cobertura da edificação funciona como um reservatório elevado, contribuindo com o desempenho térmico da construção. Além disso, o telhado verde pode, em locais muito edificados onde existe pouca permeabilidade no solo, contribuir para a desobstrução das redes de escoamento pluvial, pois, parte da água que cai no telhado verde é absorvida por parte dos componentes do sistema.</p>
--	---

2 - Durabilidade do Sistema e Influências na Estrutura da Edificação	<p>Devido à baixa oscilação térmica dos componentes do sistema é possível entender que o telhado verde pode contribuir para preservação da camada impermeabilizante, que é o mais dispendioso componente do sistema e o que mais pode trazer complicações durante a instalação e no decorrer da vida útil da edificação.</p> <p>O sistema de telhado verde extensivo não gera uma sobrecarga muito elevada na estrutura da edificação, podendo ser comparado ao peso atribuído por uma estrutura de telhado convencional de telhas cerâmicas. Entretanto, é necessário observar o tipo de cobertura, os componentes do sistema e as cargas a eles atribuídas. Em um sistema de telhado mais "tradicional" devem ser consideradas, principalmente, as cargas do substrato e do sistema drenante, levando em consideração a capacidade de absorção de água desses dois componentes. Em sistemas ditos "laminares" a camada de água acima da cobertura acrescenta a sobrecarga. Em ambos os casos as estruturas devem ser dimensionadas e calculadas de acordo.</p>
3 - Impactos no Consumo Energético e Desempenho	<p>O telhado verde pode contribuir na diminuição do consumo energético de uma edificação, tanto no inverno quanto no verão. Isso acontece devido a inerente capacidade de isolamento térmico que o sistema telhado verde proporciona. No verão o sistema funciona como um escudo para a cobertura, reduzindo a quantidade de ar quente que entra para o interior da edificação. No inverno também existe uma diminuição do consumo energético, pois, devido à capacidade de isolamento térmico do telhado verde o ar quente no interior da edificação não se dissipa com tanta facilidade.</p>
4 - Desempenho Acústico	<p>Existe pouco material a respeito dos benefícios acústicos do sistema de telhado verde. Contudo, alguns autores afirmam que o telhado verde pode colaborar com o isolamento acústico de uma edificação e todo o seu entorno, por conta da capacidade da vegetação de absorver ruídos e transformar em energia.</p>

5 - Ecossistemas e Meio Ambiente	O sistema de telhado verde pode imitar um ecossistema natural e também pode contribuir na purificação do ar devido a sua camada de vegetação. Além desses fatores uma cobertura vegetada pode trazer benefícios psíquicos e auxiliar na recuperação da natureza em zonas densamente edificadas.
6 - Mitigação de Ilhas de Calor	O sistema de telhado verde pode contribuir de forma efetiva para criação de microclimas mais equilibrados e colaborar na redução das ilhas de calor nos grandes aglomerados urbanos. É possível entender o efeito benéfico da vegetação em áreas urbanas e o auxílio inerente que o sistema de telhado verde pode ter na mitigação de "ilhas de calor" acentuadas pela refletância e absorção dos raios solares nas coberturas das edificações, geralmente portadoras de sistemas tradicionais de cobertura. Além de colaborar com o conforto térmico dentro da edificação o telhado verde pode também favorecer o clima de seu entorno.

Tabela 04 – Benefícios do Sistema de Telhado Verde
Fonte: Autor

Tendências de sustentabilidade e suas influências no sistema de telhado verde

As políticas públicas de sustentabilidade podem ser consideradas como diretrizes para o desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável pode ser baseado nos três pilares, econômico, social e ambiental, e os projetos, construções, tecnologias, sistemas e materiais utilizados na construção sustentável devem se adequar a esses conceitos. O telhado verde pode ser compreendido como um sistema bastante adequado dentro do âmbito sustentável por utilizar materiais saudáveis, duráveis e eficientes e podendo conter vegetação e substrato coletados no próprio local da obra. Ao sistema de telhado verde podem ser atribuídos os benefícios supracitados, em especial de desempenho térmico, ajudando a diminuir o efeito estufa, o de mitigador das "ilhas de calor" e de coletor de águas pluviais auxiliando na desobstrução e sobrecarga das redes públicas. Além disso, o telhado verde pode trazer benefícios estéticos na macro e micro escalas, colaborando na transformação dos espaços e aproximando a natureza de áreas densamente urbanizadas. Todos estes itens podem ser considerados contundentes junto às práticas sustentáveis.

O sistema de telhado verde pode colaborar socialmente para tornar os ambientes mais agradáveis com efeitos psicológicos benéficos, diminuir a quantidade de calor do entorno imediato ao local de sua implantação, diminuir a quantidade de água pluvial nas redes públicas auxiliando na coleta de água em áreas afetadas por enchentes, além de

O sistema de telhado verde pode colaborar economicamente diminuindo a quantidade de energia necessária para aquecer e esfriar a edificação, coletando água da chuva para uso posterior, pode ter maior durabilidade do sistema, menor custo com manutenção e, se aplicado em escala maior, pode ter estes efeitos ampliados. O telhado verde, assim como outros sistemas sustentáveis, pode agregar valor monetário ao imóvel.

Na escala ambiental o telhado verde se destaca por incorporar a natureza a espaços e áreas urbanizadas, utilizar materiais responsáveis, diminuir o consumo de bens naturais como a água, gerar menos efeito estufa e ser o portador de pequenos ecossistemas com uma variada gama de seres vivos, incluindo plantas e insetos.

Em diversos países e em algumas cidades do Brasil o uso do telhado verde já está sendo amplamente difundido. Inclusive, em certas localidades a implantação deste sistema já é uma obrigatoriedade para certas situações. Além disso, o telhado verde pode contar pontos para avaliações e certificações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que o telhado verde não é uma inovação contemporânea. Os povos primitivos já utilizavam coberturas vegetadas para se abrigarem do frio e do calor. As características de isolamento térmico são evidentes desde o aparecimento dos primeiros exemplos de abrigos e edificações utilizando este tipo de sistema. Durante a Idade Média, com o aparecimento de outras necessidades e o aumento populacional ao redor dos feudos, o telhado verde foi se adaptando e acabou sendo utilizado também como espaço de plantio e como sistema de captação de águas pluviais. O uso do telhado verde, durante esta época medieval, esteve mais restrito a países europeus de clima frio.

As novas tecnologias construtivas e os projetistas trouxeram um conceito mais ornamental para implantação do sistema de coberturas vegetadas. As inovações tecnológicas das estruturas permitiram uma diminuição na inclinação dos telhados transformando as coberturas vegetadas em terraços jardins. Enquanto isso, o próprio sistema de telhado verde evoluiu em conceito e materialidade. Uma evidência deste fato é a diferença entre tipos e variações de sistemas de telhado verde existentes. Ainda assim, esta tecnologia foi pouco utilizada em escala larga escala, pois exige uma série de cuidados durante a sua implantação e requer mão de obra especializada.

Entretanto, com o surgimento das políticas de sustentabilidade e suas aplicações para a construção civil, o sistema de telhado verde ganhou um novo destaque entre os sistemas construtivos envolvendo o desenvolvimento sustentável. O sistema de telhado verde pode ser considerado sustentável por uma gama de motivos relacionados tanto aos seus materiais quanto às suas características e benefícios.

O sistema de telhado verde deve ser escolhido levando em consideração, principalmente, o seu uso. O sistema de telhado verde extensivo é o mais comumente utilizado, principalmente em obras de menor porte, pois se trata de um sistema menos complexo, que carrega menos as estruturas e possui uma manutenção menos dispendiosa. A impermeabilização deve ser executada com maestria para evitar a maior parte dos problemas que possam aparecer neste sistema. Alguns dos componentes do sistema são complementos e outros, quando instalados, dispensam certos componentes. Entretanto, impermeabilização, sistema de drenagem, camada

filtrante, substrato e vegetação são componentes fixos e devem aparecer em qualquer tipo de sistema de telhado verde.

Existe uma quantidade considerável de atributos relacionados ao sistema de telhado verde. E entre as qualidades que mais se destacam estão: isolamento térmico, funcionando satisfatoriamente no inverno e verão, contribuindo para a diminuição do consumo energético; o controle das águas provenientes de chuvas, ajudando no controle de enchentes em áreas densamente edificadas; a mitigação de ilhas de calor, diminuindo a quantidade de raios solares refletidos para prédios vizinhos; a criação de pequenos ecossistemas em meios urbanos; além de uma série de benefícios estéticos que podem ser considerados.

É importante observar que o sistema de telhado verde vem ganhando adeptos em diversas localidades. Esse fenômeno, juntamente com as políticas públicas de desenvolvimento sustentável, vem causando uma série de mudanças na aceitação do sistema de telhado verde como instrumento de boas práticas sustentáveis. Diversos países e alguns estados e cidades Brasileiras já consideram obrigatória a utilização dos telhados verdes em coberturas de prédios.

Talvez o maior desafio do sistema seja a aceitação do público. Isto ocorre por uma falta de confiança na estanqueidade do sistema e uma má divulgação por parte do construtor comum. A implantação do sistema exige mão de obra especializada e excelente impermeabilização da cobertura a qual o sistema deverá ser aplicado. O telhado verde extensivo é o mais comumente utilizado, pois é o que menos interfere na estrutura da edificação e possui uma manutenção menos dispendiosa. O sistema de telhado verde, quando bem executado, pode corresponder a uma excelente ferramenta de projeto e pode ser considerado um sistema sustentável, principalmente se comparado ao sistema tradicional de coberturas.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma 16401-2:2008. Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários. Parte 1: Projeto das Instalações.** Rio de Janeiro, 2008.
- BALDESSAR, S.M.N. **Telhado Verde e Sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoada.** UFPR, PPGE. Curitiba, 2012.
- BARATTO, R. **França Aprova Lei que Obriga Novas Edificações a Terem Vegetação na Cobertura.** Archdaily Brasil. Abril, 2015. - Acessado 17 Ago 2015. <www.archdaily.com.br>.
- BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna.** Editora Perspectiva S.A., São Paulo, 1976.
- BIANCHINI, F.; Hewage, K. **Probabilistic Social Cost Benefit Analysis for Green Roof: A Lifecycle Approach.** Building and Environment - Elsevier, 58, 152 - 162, Canadá, 2012.
- BORDIN, C.M. **E Se Nosso Telhado Fosse Verde?** Jornalismo Ambiental UNIRITTER. Agosto, 2014. - Acessado em 27 Nov 2016. <www.jornalismoambiental.uniritter.edu.br>
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Site do Ministério do Meio Ambiente.** Brasil, 2015.
- BRUAND, Y. **Arquitetura Contemporânea no Brasil.** Editora Perspectiva S.A., São Paulo, 1999.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future: The World Commission on Environment and Development.** Oxford: Oxford University, 1987.
- CAMPBELL, B. **Arte Para Uma Cidade Sensível.** Invisíveis Produções, São Paulo, 2015
- CARMO, M. **Prédios Argentinos Pagarão Menos Imposto Por Ter Jardins no Telhado.** BBC Brasil. Fevereiro, 2013. - Acessado 25 Abr 2016. <bbc.com/portuguese>.
- CARTER, T.; KELLER, A. **Lifecycle Cost Benefit Analysis of Extensive Vegetated Roof Systems.** Journal of Environmental Management - Elsevier, 87, 350 - 363, Estados Unidos, 2008.
- CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** 2ª Edição Revisada e Ampliada. Thesaurus Editora - Brasília, 2010.
- CASTELNOU, A. M. N. **Sentindo o Espaço Arquitetônico.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR, Paraná, 2003.

CASTRO, A.S. **Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Qualitativo do Escoamento Superficial Urbano**. UFRGS, PPG. Porto Alegre, 2011.

CHIARELLA, P., ILARI, M. J. **Diseño y Construcción de Techos Verdes - Modulo 1: Historia de Las Cubiertas Naturadas**. Secretaria de Posgrado - FADU, Ciudad Universitaria UNL, Santa Fe, México, 2013.

CONNELLY, M.; HODGSON, M. **Thermal and Acoustical Performance of Green Roofs: Sound Transmission Loss of Green Roofs**. Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show - Baltimore. Vancouver, 2008.

CORBELLA, O., CÖRNER, V. N. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para a Redução de Consumo Energético**. Editora Revan. Rio de Janeiro, 2011.

D'ORAZIO, M.; DI PERNA, C. DI GIUSEPPE, E. **Green Roof Yearly Performance: A Case Study in a Highly Insulated Building Under Temperate Climate**. Energy and Buildings - Elsevier.55, 439 - 451. Itália, 2012.

EDWARDS, B. **O Guia Básico para a Sustentabilidade**. Editora G. Gilli LTDA. Barcelona, Espanha, 2013.

FERRAZ, I. L. **O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha**. USP, Escola Politécnica. São Paulo, 2012.

FERREIRA, C.A.; MORUZZI, R.B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água da chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. 4º Encontro Nacional e 2º Encontro Latino-Americano sobre Edificações Sustentáveis. ELECS, 2007.

GAETE, C. M. **Um Teto Verde a Cada Edifício: A Política de Copenhague para Eliminar as Emissões de Carbono até 2025**. Archdaily Brasil. Setembro, 2014. - Acessado 17 Ago 2015. <www.archdaily.com.br>.

GATTO, C. M. **Coberturas Verdes: a Importância da Estrutura e Impermeabilização Utilizadas**. UFJF, Faculdade de Engenharia. Juiz de Fora, 2012.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Arquitetura Ecológica**. Editora Senac São Paulo. São Paulo, 2011.

GREEN ROOF GUIDE & CROSS SECTION, Acessado 02 Jun 2016. <www.davidbirkam.com/greenroof/history>.

GREEN ROOF GUIDELINES. www.greenroofguide.uk.co. Reino Unido, 2014.

HENEINE, M.C.A.S. **Cobertura Verde**. UFMG - Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2008.

HUSSEIN, J. S. M. **Levantamento de Patologias Causadas por Infiltrações Devido à Falha ou Ausência de Impermeabilização em Construções Residenciais na Cidade de Campo Mourão - PR**. UTFPR, Curso Superior de Engenharia Civil. Campo Mourão, 2013.

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R. **A Comprehensive Study of the Impact of Green Roof on Building Energy Performance**. Renewable Energy - Elsevier. 43, 157 - 164. França, 2012.

JOBIM, A. L. **Diferentes Tipos de Telhados Verdes no Controle Quantitativo da Água Pluvial**. UFSM, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2013.

KOWALTOWSKI, D., WATRIN, V., SORRIBAS, J. **Tradição e Arquitetura Autoconstruída**. ENCAC 2001, São Pedro, 2001.

KREBS, L. F. **Coberturas Vivas: Análise da Utilização em Projetos na Região Metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha**. UFRGS, Escola de Engenharia PPGME. Porto Alegre, 2005.

LOPES, D. A. R. **Análise do Comportamento Térmico de Uma Cobertura Verde Leve (CVL) e Diferentes Sistemas de Cobertura**. USP, Escola de Engenharia. São Carlos, 2007.

LUCKETT, K. **Green Roof: Construction and Maintenance**. The McGraw - Hill Companies, Inc. NY, 2009.

MACEDO, M. **Telhados Verdes Poderão Ser Obrigatórios em Prédios Públicos**. Camarapoa - Site da Câmara Municipal de Porto Alegre. Junho, 2016. - Acessado em 28 Nov 2016. <www.camarapoa.rs.gov.br>.

MARQUES, C. S. P., AZUMA, M. H., SOARES, P. F. **A Importância da Conservação da Arquitetura Vernacular**. Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2009.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa**. Acessado 02 Jun 2016. <michaelis.uol.com.br>

MOXON, S. **Sustentabilidade no Design de Interiores**. Editorial Gustavo Gilly. China, 2012.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R.R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KOHLER, M.; LIU, K.K.Y.; ROWE, B. **Green Roof as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services**. Bioscience Magazine - Vol. 57, n.10 - Novembro, 2007.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens - History, Design and Construction**. W.W. Norton & Company, Inc. New York, NY. 1999.

OULDBOUKHITINE, S; BELARBI, R.; JAFFAL, I.; TRABELSI, A. **Assessment of Green Roof Thermal Behavior: A Couple Heat and Mass Transfer Model**. Building and Environment - Elsevier. 46, 2624 - 2631. França, 2011.

PACHECO, F. S. **Concinnitas, Ordinatio, Lineamenti, Virtu e Outras do Vocabulário de Leon Battista Alberti**. Arqtexto, Porto Alegre, 2005.

PINHO, M. Haddad **Veta Obrigatoriedade de Novos Prédios Terem Telhado Verde**. G1. Outubro, 2015. - Acessado 25 Abr 2016. <g1.globo.com>.

PINTO, C. I. R. C. **Introdução Às Coberturas Ajardinadas**. FEUP, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2014.

QUEIROZ, G. F. **Importância do Projeto Arquitetônico Para Evitar Patologias Decorrentes de Infiltrações de Água em Fachadas de Edifícios**. EPP, Universidade de Pernambuco - Pernambuco, 2008.

RECIFE, PERNANBUCO. **Lei de Telhado Verde**. Recife, 2015.

ROAF, S., FUENTES, M., THOMAS, S. **Ecohouse - A Casa Ambientalmente Sustentável - 3ª Edição**. Bookman Companhia Editora. Porto Alegre, 2007.

ROGERS, R., GUMUCHDJIAN, P. **Cidades Para um Pequeno Planeta**. Editora G. Gilli LTDA, São Paulo, 2015.

ROSSETI, K.A.C.; DURANTE, L.C.; CALLEJAS, I.J.A.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; NOGUEIRA, J.S. **Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados**. Brazilian Geographical Journal - n.1, p.55-77, jan./jun., 2013.

SALEIRO FILHO, M., ALVES, L. A. R., SCHUELER, A., ROLA, S. **Além de Um Diálogo Reservado com as Estrelas: O Processo de Formação e Transformação do Terraço Jardim ao Telhado Verde**. RCT - Revista de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2015.

- SAVI, A.C. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. UTFPR, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curso de Especialização em Construções Sustentáveis II. Curitiba, 2012.
- SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil / Anos 80**. Projeto Editores Associados LTDA, São Paulo, 1988.
- SILVA, N. C. **Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental**. UFMG, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2011.
- SNODGRASS, E. C.; McINTYRE, L. **The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Instalation, and Maintenance**. Timber Press Inc. Portland, Oregon. EUA, 2010.
- SOMEH, M.F.; BASIRI, M.; AZIM, A.Z. **The Role of Green Roof in Urban Sustainability**. European Scientific Journal - v.2 ISSN: 1857 - 7881. Novembro, 2014.
- STRAPASSON, D.C.; FREITAS, M.C.D.; DOS SANTOS, A. **Estudo comparativo do consumo energético do telhado convencional e verde leve em uma edificação**. 5º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, out., 2010.
- STROETER, J. R. **Arquitetura &Teorias**. Editora Nobel, São Paulo, 1986.
- SUSCA, T.; GAFFIN, S.R.; DELL'OSSO, G.R. **Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs**. Environmental Pollution - Elsevier, 159, 2119 - 2126. Nova York, 2011.
- UGALDE, J. **Contribuição da Naturação para a Eficientização Energética na Arquitetura**. 3º Relatório Semestral. UFRJ/COPPE/PPE - CNPq/Energia, 2004.
- VAN LENGEN, J. **Manual do Arquiteto Descalço**. B4 Editores, São Paulo, 2014.
- VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. **In-situ Measurements of Sound Propagating over Extensive Green Roofs**. Building and Environment - Elsevier. 46, 729 - 738. Bélgica, 2011.
- VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U.M.; BALASUBRAMANIAN, R. **A Field Study to Evaluate Runoff Quality from Green Roofs**. Water Research - Elsevier. 46, 1337 - 1345. Singapura, 2012.
- YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. **Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago**. Atmospheric Environment - Elsevier, 42, 7266 - 7273. Chicago, 2008.