**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura,
caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**

Jorge Alex Willes

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Jorge Alex Willes
Engenheiro Agrônomo

**Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização
hidrológica e sustentabilidade do sistema**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Willes, Jorge Alex

Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema / Jorge Alex Willes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
69 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Telhado verde 2. Substratos 3. Retenção de água I. Título

CDD 712
W698t

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

DEDICATÓRIA

À mulher da minha vida, Bianca, pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

A cada membro das famílias Billig Willes e Gorski Pereira, por contribuírem, cada um a sua maneira, para a minha formação pessoal e profissional e por terem me mostrado a importância da família, da honestidade e da persistência.

E, principalmente, aos meus filhos amados, Luisa e Bernardo, pela paciência e compreensão, principalmente quando tivemos que ficar distantes querendo estar juntos.

Sem vocês nenhuma conquista valeria à pena!

AGRADECIMENTOS

Muito especialmente, desejo agradecer ao meu orientador Prof.Dr. Klaus Reichardt, pelos ensinamentos, amizade, disponibilidade e atenção dispensada.

Ao Prof. Dr. Ricardo Luiz Schons, pela sua amizade e disposição para ajudar no que fosse necessário e apoio técnico na realização dos experimentos.

Ao amigo e Técnico de Nível Superior do Laboratório de Física do Solo do CENA/USP, Robinho, pelas conversas, pela colaboração na realização das análises e pelas sugestões;

Ao IF Farroupilha e PPG Fitotecnia ESALQ/USP, pela oportunidade de participar deste programa de pós-graduação.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro;

À ECOTELHADO, especialmente ao João Manoel, pelas sugestões, apoio e pela doação de material utilizado neste trabalho;

À bibliotecária Sílvia pelas correções, sugestões na formatação da tese e pela cordialidade de sempre;

A todos os demais que participaram de forma direta ou indireta desta construção.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 DESENVOLVIMENTO	23
2.1 Revisão bibliográfica	23
2.1.1 Sustentabilidade	23
2.1.2 Evolução dos telhados verdes	24
2.1.3 Uso do telhado verde nas edificações	26
2.1.4 Uso do telhado verde na agricultura urbana	29
2.1.5 Disposição do telhado verde	29
2.1.6 Classificação dos telhados verdes:.....	30
2.1.6.1 Telhado verde modular.....	32
2.1.6.2 Telhado verde alveolar.....	33
2.1.6.3 Telhado verde alveolar modular	34
2.1.6.4 Telhado verde laminar.....	35
2.1.7 Vantagens da utilização de coberturas verdes	37
2.1.7.1 Retenção de água da chuva	37
2.1.7.2 Melhoria da qualidade da água da chuva	38
2.1.7.3 Redução do calor externo	39
2.1.7.4 Isolamento térmico e acústico	40
2.1.7.5 Melhorador da qualidade do ar	41
2.1.7.6 Reforço do ecossistema	41
2.1.7.7 Estética e recuperação de área verde	41
2.1.7.8 Custos x Benefícios econômicos	42
2.1.8 Componentes do telhado verde	43
2.1.8.1 Vegetação	43
2.1.8.2 Substrato	45
2.1.8.3 Camada filtrante	46
2.1.8.4 Camada de drenagem	46

2.1.8.5 Camadas de retenção de água	47
2.1.8.6 Camada de proteção	47
2.1.8.7 Camada de impermeabilização	47
2.1.8.8 Camada de isolamento térmico	48
2.1.8.9 Superfície de apoio	48
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Local dos estudos	49
3.2 Materiais utilizados	49
3.3 Procedimentos	50
3.3.1 Métodos para caracterização física	50
3.3.1.1 Densidade	50
3.3.1.2 Disponibilidade de água, porosidade total, espaço de aeração.....	50
3.3.1.3 Granulometria.....	52
3.3.2 Métodos para a caracterização química.....	52
3.3.2.1 Valor de pH.....	52
3.3.2.2 Teor total de sais solúveis	53
3.4 Análises estatísticas	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Características químicas	55
4.2 Características físicas	57
4.2.1 Distribuição do tamanho de partículas	57
4.2.2 Relação sólidos:ar:água.....	58
4.3. Considerações finais	63
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67

RESUMO

Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema

Tanto no meio rural como urbano as novas tendências são de buscar uma melhoria de técnicas e de uso de materiais alternativos buscando-se uma maior sustentabilidade. A utilização de plantas nas paredes e telhados é um dos mais recentes campos da pesquisa ambiental e busca encontrar uma solução ecológica e sustentável para melhorar a qualidade de vida urbana e rural. Uma cobertura verde consiste de um substrato leve e de uma vegetação apropriada, plantada sobre uma base impermeável. Podem conter também camadas adicionais, tais como, um sistema de drenagem e irrigação e uma barreira anti-raízes. Os efeitos positivos da vegetação sobre o ambiente urbano já são bem conhecidos e neste caso da cobertura, diminuem as enxurradas, filtro biológico, redução da poluição do ar, amenizam o calor nas edificações durante o verão e o conservam durante o inverno. Há também benefícios para a fauna, com retorno de espécies que mantêm o equilíbrio biológico local. Essas coberturas podem ter muitas aplicações, como em indústrias, residências, escritórios e outras propriedades comerciais e rurais. Uma criteriosa seleção de plantas permite que a cobertura verde tenha sucesso em condições adversas. Por outro lado, são necessárias pesquisas no sentido de assegurar um meio de cultura que retenha água e ao mesmo tempo proporcione uma boa drenagem para que as raízes não apodreçam, permitindo uma maior gama de espécies de plantas na cobertura. Neste sentido, realizou-se um estudo dos substratos mais abundantes na região, buscando tecnologias apropriadas para a confecção dos telhados verdes e identificando as melhores técnicas de aplicação, de acordo com a necessidade de cada ambiente. Para a realização deste trabalho foram utilizados dez tipos de substratos que foram pré-selecionados de acordo com a disponibilidade no mercado, de mais fácil obtenção e de melhor custo benefício ambiental. As análises estatísticas utilizam o delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema fatorial com três repetições e utilizando o programa estatístico SAS para auxiliar na análise e confecção dos gráficos e discussões. Na avaliação do conjunto de características, a turfa marrom (TM) apresentou o menor valor de densidade seca, maior porosidade total, maiores valores de água facilmente disponível, água disponível e capacidade de retenção de água, e mesmo valor de espaço de aeração daquele sugerido como referência sendo um bom material para o uso em telhados verdes, formando compostos com outros materiais e buscando as melhores características e sustentabilidade do sistema. Dentre os substratos comerciais estudados, o substrato para espécies hortícolas (SH) apresentou os maiores valores de capacidade de retenção de água e água disponível para as plantas, possibilitando um maior intervalo entre irrigações ou chuvas, características importantes para o uso em telhados verdes. No entanto, tornam-se necessários mais estudos com a finalidade identificar mais materiais e substratos apropriados para o uso em telhados verdes, levando-se em conta as diferentes características de cada local, tipo de vegetação escolhida, capacidade de suporte da edificação, dentre outros fatores.

Palavras-chave: Telhado verde, Substratos, Retenção de água

ABSTRACT

Technologies extensive green roofs: culture media, hydrologic characterization and sustainability system

Rural and urban new trends seek an improvement in techniques and use of alternative materials for greater sustainability. The use of plants on walls and roofs is one of the newest fields of environmental research, looking for a green and sustainable solution to improve the quality of urban and rural life. A green cover consists of a substrate and appropriate vegetation planted on an impermeable base. It can also contain additional layers, such as a system of drainage and irrigation with an anti-root barrier. The positive effects of roof vegetation on urban environment are well known, as reducing the runoff, acting as a biological filter, reducing air pollution, minimizing heat inside the buildings during summer and maximizing during the winter. There are also benefits to fauna, with the return of various species, maintaining the local biological balance. The coverage can be adapted to industries, homes, offices and other commercial and rural properties. Careful selection of plants allows the green roof to succeed in adverse conditions. In addition, research is necessary to ensure a culture medium that retains water that the same time provides good drainage to prevent root rot, allowing a wider range of plant species in the cover. In this sense, a study was conducted involving the most abundant substrates of our region, seeking appropriate technologies for the manufacture of green roofs and identifying the best application techniques, according to the needs of each environment. For this work ten types of preselected substrates were used according to market availability, easier to obtain and with a better environmental cost/benefit ratio. Statistics of the experimental design was completely randomized in a factorial format with three replications and using the SAS statistical software to assist in the analysis and construction of graphs and discussions. In evaluating the feature of the cover set, brown peat (TM) presented the lowest value of dry density, higher porosity, higher values of easily available water, available water capacity and water retention, and even the amount of aeration space, suggested TM as being a good reference material for use in green roofs. Among the studied commercial substrates, the substrate for horticultural species (SH) showed the highest values of water holding capacity and water available to plants, allowing a longer interval between irrigations or rainfall, an important characteristic for its use on green roofs. However, more studies are needed in order to identify the most suitable materials and for use in green roof substrates, taking into account the different characteristics of each site, vegetation type, bearing capacity of the building, among other factors.

Keywords: Green roof, Substrates, Water retention

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem artística dos Jardins Suspensos da Babilônia	24
Figura 2 - Edificação tradicional de terra e gramíneas na Islândia	25
Figura 3 - Coberturas verdes extensivas na Austrália	27
Figura 4 - Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago – EUA).....	28
Figura 5 - Coberturas verdes inacessíveis (Berlin – Alemanha).....	30
Figura 6 - Composição de Telhado Verde Modular.....	33
Figura 7 - Composição de Telhado Verde Alveolar.....	34
Figura 8 - Composição de Telhado Verde Alveolar Modular.....	35
Figura 9 - Composição do Telhado Verde Laminar.....	36
Figura 10 - escoamento pluvial em uma cobertura verde e em um telhado convencional	37
Figura 11 - Evapotranspiração, Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia	40
Figura 12 - Componentes do telhado verde	43
Figura 13 - Jogo de peneiras acoplado ao agitador para o cálculo da granulometria	52
Figura 14 - Distribuição do tamanho das partículas dos substratos Monocomponentes	57
Figura 15 - Distribuição do tamanho das partículas dos substratos compostos comerciais	58
Figura 16 - Relação sólidos:ar:água dos substratos Monocomponentes.....	59
Figura 17 - Relação sólidos:ar:água dos substratos compostos comerciais.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos telhados verdes conforme a carga superficial	31
Tabela 2 - Características químicas dos substratos: CP, CG, CF, TP, TM e substratos compostos comerciais: SH, SF, ST, PM, RM. Júlio de Castilhos, 2013.	54
Tabela 3 - Características físicas dos substratos: CP, CG, CF, TP, TM e substratos compostos comerciais: SH, SF, ST, PM, RM. Júlio de Castilhos, 2013.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS:

AD	-	Água disponível
EA	-	Espaço de aeração
AR	-	Água remanescente
CRA	-	Capacidade de retenção água (100 hpa)
CF	-	Casca de coco fibrosa
CG	-	Casca de coco granular
CP	-	Casca de pinus moída
DS	-	Densidade seca
EPA	-	Environmental Protection Agency
ESALQ	-	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
EUA	-	Estados Unidos da América
IFF	-	Instituto Federal Farroupilha
NRCA	-	National Roofing Contractors Association
PT	-	Porosidade total
TTSS	-	Teor total de sais solúveis (equivalente kcl)
ONU	-	Organização das Nações Unidas
pH	-	Valor de ph em água
PM	-	Substrato plantimax
SF	-	Substrato para mudas Florestais
SH	-	Substrato para Horta
ST	-	Substrato para mudas de Fumo
TM	-	Turfa marrom
TP	-	Turfa preta
RM	-	Substrato rendimax
VDLUFA	-	Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha
VS	-	Volume de sólidos

1 INTRODUÇÃO

O homem tem transformado drasticamente a natureza, desviando cursos d'água, escavando montanhas, drenando pântanos e acumulando toneladas de poluentes no ar, na água e no solo. Isto prejudica a várias espécies de animais e vegetais e, acaba por afetar a sua saúde e o seu bem-estar visto que, segundo Sousa (2008), a qualidade de vida do homem está diretamente relacionada com a qualidade do meio ambiente, isto é, com suas condições físicas, químicas e biológicas.

No meio urbano a degradação ambiental é provocada pelo avanço e crescimento da população que aumenta a área construída e impermeabilizada, o que implica dizer que o espaço urbano cresce rapidamente e sem a preocupação com o impacto ambiental.

Uma das consequências do crescimento das cidades é a diminuição da cobertura vegetal natural dos terrenos, o que acaba gerando uma série de fatores, que interferem diretamente na qualidade de vida do homem, tais como: (i) O aumento do escoamento de água nas vias pluviais devido à impermeabilização dos terrenos, contribuindo para as grandes enchentes; (ii) O aumento da poluição atmosférica, com o surgimento das ilhas de calor, gerando mais gastos com climatização e o aumento no consumo de energia e (iii) Além de gerar uma paisagem carregada de edifícios, densa e monocromática como é o caso das grandes capitais (CRUZ; LEONI, 2008).

Estes fatos nos indicam que o homem acabando por prejudicar, muitas vezes irreversíveis, no meio em que vive buscando satisfazer a sua necessidade imediata. Porém essa situação pode ser amenizada, se houver uma mudança na cultura mundial para que o homem evite a degradação da natureza com a utilização de recursos antipoluentes e, também, com o desenvolvimento de novos métodos construtivos sustentáveis.

Dentre os métodos construtivos sustentáveis, foram desenvolvidas as coberturas verdes, que são estruturas que se caracterizam pela aplicação de cobertura vegetal sobre as edificações, utilizando impermeabilização e drenagem adequadas e que surgem como uma alternativa de cobertura capaz de proporcionar várias vantagens sobre as coberturas convencionais (CASTRO; GOLDENFUM, 2008).

A utilização de coberturas verdes em paredes e telhados é um dos campos da pesquisa ambiental que busca encontrar uma solução ecológica e sustentável para melhorar a qualidade de vida urbana e rural. Os efeitos positivos da vegetação sobre o ambiente urbano já são bem conhecidos e neste caso, diminuem as enxurradas, amenizam o calor nas edificações durante o verão e o conservam durante o inverno. Há também benefícios para a fauna, com retorno de espécies que mantêm o equilíbrio biológico local. Essas coberturas podem ter muitas aplicações, como em indústrias, residências, escritórios, aviários e outras propriedades comerciais e rurais.

Também chamado de “Green Roof” ou “Gründächer”, esse tipo de cobertura hoje ainda é mais difundida nos países de língua germânica da Europa Central e tem se difundido pelo norte, noroeste da Europa e norte da América. Na Europa eles estão sendo muito utilizados para a gestão ambiental, preservar energia e evitar enchentes, assim como benefícios estéticos. Aqui no Brasil é mais conhecido nos estados do Sul, onde a sua execução está sendo incentivada por entidades ambientais e se difundindo cada vez mais, também visando à gestão ambiental, evitando enchentes, trazendo conforto ambiental e como fito remediação, ou seja, como um filtro biológico para remover da atmosfera urbana os poluentes prejudiciais à saúde.

Os telhados verdes podem ser classificados sob dois enfoques, o “intensivo” e o “extensivo”. O intensivo necessita de mais substrato, é mais profundo e pode acomodar plantas maiores, tais como às árvores e arbustos. Este sistema necessita de maiores cuidados na implantação e manutenção, por ser mais pesado e possuir plantas que necessitam mais cuidados. Normalmente deve ser utilizado em locais já projetados para suportarem as cargas que serão geradas com o seu uso. Já o sistema extensivo necessita de pouco substrato e comporta plantas rasteiras e gramados, é de mais fácil implantação e manutenção devido às novas tecnologias e ao aperfeiçoamento dos materiais utilizados.

Um telhado verde, do tipo extensivo, consiste de um substrato leve e de uma vegetação apropriada, plantada sobre uma base impermeável, podem conter também camadas adicionais, tais como, um sistema de drenagem e irrigação e uma barreira anti-raízes. Tanto no meio urbano como meio rural as novas tendências são de se buscar uma melhoria das técnicas e do uso de materiais alternativos procurando uma maior sustentabilidade.

No Brasil, por se tratar de um tema relativamente novo, suas técnicas estão mudando constantemente, novas aplicações e soluções também, portanto, é necessário pesquisar novos meios de cultura leves e que possam reter água e ao mesmo tempo proporcionem uma boa drenagem para que as raízes não apodreçam, permitindo uma maior gama de espécies de plantas na cobertura. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo estudar os substratos mais abundantes na região sul, buscando tecnologias apropriadas para a confecção dos telhados verdes e identificando as melhores técnicas de aplicação, de acordo com a necessidade de cada ambiente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Sustentabilidade

Define-se por sustentabilidade, ou desenvolvimento sustentável, aquele que responda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987). Este foi o conceito oficial publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU) e que foi publicado em 1987. Desde então, este conceito vem sendo reformulado e questionado ao descrever as noções de sustentabilidade.

Segundo CATALISA (2011), a busca pelo desenvolvimento sustentável procura estabelecer o equilíbrio na composição de um modelo, não só econômico, social e ambiental, mas também político e cultural. A determinação em buscar tal equilíbrio veio da constatação de que o modelo de desenvolvimento empregado atualmente é ecologicamente predatório na utilização dos recursos naturais, socialmente perverso com geração de pobreza e extrema desigualdade social, politicamente injusto com concentração e abuso de poder, culturalmente alienado em relação aos seus próprios valores e eticamente censurável no respeito aos direitos humanos e aos das demais espécies.

White (2008) afirma que definir o que é sustentável é fácil, mas definir o que realmente deva ser implica em rever todo o processo histórico e cultural de produção do espaço edificado, além do econômico e do social. O princípio comum é a ética. A busca pela manutenção e/ou melhoria da qualidade de vida vem acompanhada de soluções de maior eficiência no uso de recursos naturais, de menor impacto ambiental e de justiça social, com critérios responsáveis.

A sociedade busca um novo modelo de desenvolvimento que responda a estas questões, ou seja, um novo paradigma definido como desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade é uma mudança cultural em que o novo paradigma é um novo modelo de desenvolvimento (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Analisando a evolução dos conceitos ambientais, pode-se dizer que, desde as primeiras preocupações do homem com o meio ambiente, aprendeu-se à custa de muito sacrifício que a natureza é um bem precioso e comum à humanidade sem distinção de nações, pois o planeta é um todo regido e usufruído por todos.

2.1.2 Evolução dos telhados verdes

O telhado verde foi primeiramente concebido com um objetivo estético e é relatado desde os antigos jardins suspensos da Babilônia, que foi um monumento erguido por Nabucodonosor II, entre 650 a 560 a.C. como presente para a sua esposa Amytis, que sentia saudade de sua terra natal. Os jardins suspensos da Babilônia (Figura 1) esta entre as sete maravilhas do mundo. Segundo relatos da época, o esplendor do jardim era tanto que havia animais, plantas exóticas e, segundo Cruz e Leoni (2008), possuía um sistema de irrigação que desviava a água do rio Eufrates para o jardim. A função principal do jardim era embelezar a cidade.

Figura 01 - Imagem artística dos Jardins Suspensos da Babilônia.
Fonte: Cruz & Leone (2008).

A tecnologia do telhado verde como um instrumento funcional para a civilização tem sua origem em diferentes regiões do mundo. Na Escandinávia, os telhados eram cobertos com uma mistura de terra e grama como forma de isolamento térmico (Figura 2). Abaixo dessa camada eram colocadas pesadas vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores para a impermeabilização do telhado (RODRIGUEZ, 2006). Porém, naquela época, as coberturas verdes eram aproveitadas visando a sua eficiência no isolamento térmico, pela atuação conjunta

de solo e vegetação, ajudando a reter calor no interior da edificação em climas frios e, em climas quentes, impedindo a sua penetração (PECK, et al. 1999).

Figura 02 - Edificação tradicional de terra e gramíneas na Islândia.
Fonte: Rodriguez (2006).

Atualmente diversos países já iniciaram suas pesquisas sobre coberturas verdes e já as utilizam para promover a biodiversidade e a sustentabilidade. Segundo a Green Roof Proposaland Guide, (Cruz; Leoni, 2008), a Alemanha lidera este grupo de desenvolvimento após décadas de pesquisa.

Nos anos 70, organizações privadas juntamente com universidades e centros de pesquisa começaram a desenvolver na Alemanha estudos envolvendo o telhado verde e suas aplicações, desenvolvimento de habitats ecológicos em áreas urbanas, balanço energético, sistemas de drenagem e impermeabilização, planejamento e dimensionamento. Essas pesquisas contribuíram para o entendimento do telhado verde como uma importante ferramenta para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas. A partir do final dos anos 70, pesquisas direcionadas a esses anseios começaram a ser publicadas em maior número na Europa, principalmente na Alemanha, uma das principais fontes de bibliografia sobre o assunto.

Atualmente, grande parte das pesquisas desenvolvidas, que exploram as características do telhado verde, visa quantificar a atuação do telhado verde na

diminuição do escoamento superficial da água de chuva e no combate às ilhas de calor urbanas.

No conceito da green architecture, retornam os telhados verdes agregando um conceito atual de cidades verdes. Contudo, trata-se de um conceito diferente daqueles já descritos e usados nos antigos telhados verdes que se realizaram em todo o período evolucionário do ambiente construído.

A Environmental Protection Agency (EPA) considera que a principal função do telhado verde é absorver volumes de água de chuva e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado. Além disso, a mesma entidade considera o telhado verde como uma importante medida visando o desenvolvimento sustentável em centros urbanos através da promoção da qualidade do ar e da água e da redução da necessidade de sistemas de aquecimento e refrigeração nas edificações (CRUZ e LEONI, 2008).

No Brasil, pouco se sabe sobre o desenvolvimento e as principais características das coberturas verdes, a prática do telhado verde ainda é pouco difundida, e a implantação dessa alternativa tem sido pouco explorada para fins hídricos.

2.1.3 Usos de telhados verdes nas edificações

O telhado verde tem por objeto a aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações que recebam tratamento adequado em relação à impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo. A National Roofing Contractors Association (EUA) lançou o NRCA Green Roof Systems Manual em 2007, este manual fornece informações técnicas relativas ao projeto e instalação de telhados verdes. O foco do manual são os aspectos relacionados aos sistemas de impermeabilização e as informações relacionadas aos demais componentes do sistema, tais como o substrato, o filtro de tecido, camada de reservatórios e drenagem, são limitadas.

A NRCA (2007) define como telhado verde, a vegetação aplicada em um substrato colocado em qualquer nível impermeabilizado da edificação. Suas camadas são constituídas de impermeabilização e seus componentes associados, tais como, a barreira de proteção anti-raízes, uma camada de drenagem, uma camada de isolamento térmico, substrato e plantações.

Não necessariamente pode-se relacionar esta tecnologia apenas às novas edificações, pois desde que sejam observados alguns aspectos é possível aplicá-la com grande sucesso em edificações já existentes. Para tal, é necessário calcular a resistência da estrutura que irá receber o telhado verde, realizar a impermeabilização e a instalação de barreiras anti-raízes, sistema de drenagem e demais medidas que se tornem necessárias conforme a inclinação da cobertura existente a ser reformada ou construída (Figura 3).

Figura 03 - Coberturas verdes extensivas na Austrália.
Fonte: Fonte: Photo Gallery (2013).

Para Neiva e Pozo (2005), as coberturas representam opções similares quanto à correspondência entre as estratégias passivas de captação energética e às diversas disposições construtivas admitidas pela prática habitual. Os sistemas construtivos devem se acomodar ao clima predominante, recusando um plano de construção global válido para qualquer região e situação.

Em se tratando do uso de coberturas verdes nas cidades é, sem dúvida alguma, um possível potencial a ser explorado. Nota-se a crescente utilização de telhados verdes, a qual pode vir a ser uma tendência mundial no controle ao efeito

estufa. Estas coberturas reduzem: o efeito ilha-de-calor, a poluição do ar e as enchentes (Figura 4).

Figura 4 - Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago - EUA).
Fonte: Photo Gallery (2013)

Ainda segundo Neiva e Pozo (2005), esse tipo de cobertura é recomendado para diversos climas e até em lugares onde o regime de precipitação seja deficiente. Apresenta grandes vantagens, tanto do ponto de vista do conforto devido à umidade do ar e de sua temperatura, bem como a consideração do efeito ambiental que é capaz de produzir no seu entorno. Destacando algumas destas vantagens, tem-se a retenção do pó e de substâncias contaminantes na capa vegetal; uma proteção eficaz contra a radiação solar e o aumento da capacidade de esfriamento por evaporação, acabando por melhorar a umidade ambiental, o aumento do espaço útil, a considerável melhora do isolamento e da estabilidade térmica interior e ainda os efeitos derivados da absorção de ruído. O maior custo do sistema pode ser minimizado pelas vantagens que proporciona ao ambiente interior e exterior.

2.1.4 Uso do telhado verde na agricultura urbana

Historicamente temos observado um processo de migração de famílias de zonas rurais para zonas urbanas, com isso as raízes dos mesmos com a terra não foram perdidas, e vegetais e animais continuam sendo produzidos em áreas urbanas, esta prática tem sido chamada de agricultura urbana.

A agricultura urbana tem ganhado destaque no cenário nacional e mundial, com ênfase no resgate da cidadania e na sustentabilidade do ecossistema das cidades. Neste contexto as tecnologias de coberturas verdes podem ser aplicadas às comunidades carentes que utilizam telhados leves (fibrocimento) para produção de hortaliças, plantas ornamentais e medicinais, melhorando a qualidade de vida dos habitantes, pois altera fatores microclimáticos, e gerando alimento e renda.

Há um potencial econômico interessante com a implementação de telhados verdes em comunidades carentes, pois neles podem ser cultivados tanto hortaliças como plantas medicinais de pequeno porte, temperos domésticos e plantas ornamentais. Para um bom desempenho da produção é necessária uma manutenção adequada para cada cultivo, pois a venda da produção pode sustentar os gastos com a manutenção do telhado a respeito da irrigação e adubação. (MARY *et al.* 2008)

2.1.5 Disposição do telhado verde

O plantio em telhados é usado principalmente em telhados planos. No entanto, também é possível explorar esta técnica em telhados inclinados, desde que medidas adequadas sejam tomadas para garantir a cobertura do telhado, ou seja, para que a vegetação não escorregue junto com o substrato. As técnicas para a contenção da vegetação e do seu substrato irão variar conforme a inclinação desta cobertura e do local onde ela está inserida em decorrência dos dados climáticos.

Havendo aumento na inclinação do telhado, estes se tornam menos econômicos e a aparência do plantio menos natural (SCHUNCK *et al.*, 2003). Os autores ainda afirmam que não é possível especificar um limite exato, mas telhados com uma inclinação de 15-20° geralmente podem ser ajardinados sem qualquer problema.

Para Minke (2004) é possível classificar os telhados verdes e suas inclinações. Para telhado de até 3° ou 5% de inclinação é considerado telhado

plano. O que possui de 3° a 20° ou 5% a 35% de inclinação é chamado de telhado de encosta suave. O que possui de 20° a 40° ou 36% a 84% é chamado de telhado com declive (Figura 5). Acima de 40° ou acima de 84% é chamado de telhado íngreme.

Figura 05 - Coberturas verdes inacessíveis (Berlin - Alemanha).
Fonte: Minke (2004)

Minke (2004) complementa que para telhados de encosta suave geralmente se dispensa a colocação de segurança contra deslizamento do substrato e para as demais inclinações ele sugere diferentes dispositivos para diferentes inclinações. Desde 1976, no Laboratório de Investigação de Construção Experimental da Universidade de Kassel, Alemanha, são feitos testes utilizando diferentes métodos para aplicar a vegetação e o substrato em telhados íngremes.

2.1.6 Classificação dos telhados verdes

De acordo com a necessidade de manutenção, e complexidade dos sistemas, os telhados verdes são geralmente classificados como intensivos e extensivos (KIBERT, 2008).

Os telhados verdes intensivos são sistemas que necessitam de alta taxa de manutenção, pois é possível a criação de jardins com terraços e espelhos d'água, além de incluir gramados e vegetações de médio e grande porte, como arbustos e árvores. Os sistemas intensivos são muito mais complexos e pesados do que os extensivos e requerem maior investimento e manutenção. Além disso, é necessário que seja feito um projeto personalizado para cada tipo de aplicação dos telhados verdes intensivos, pois conforme o tamanho das plantas será necessário uma maior profundidade de substrato para dar suporte às raízes e um cálculo estrutural mais aprimorado, levando-se em consideração o crescimento das diferentes espécies.

Já os sistemas de telhados verdes extensivos são definidos por possuir baixa manutenção, são tolerantes à seca e possuem características de auto sementeira, ou seja, exigem pouca ou nenhuma irrigação, adubação e manutenção. Os tipos de plantas adequadas para este sistema são as nativas, principalmente em locais com condições de seca. No entanto, no Brasil alguns estudos com tipos de plantas constataram que as plantas exóticas, que se encontram adaptadas ao meio, também podem ser usadas, desde que estas também possuam características de pouca manutenção e raízes pouco agressivas.

De acordo com Rola (2008), os telhados verdes podem ser classificados pela carga superficial, espessura da vegetação, espessura dos sistemas e a manutenção respectiva. As classificações auxiliam na melhor compreensão geral do sistema em foco, conforme mostra a tabela 1 a seguir.

Tabela 1- Classificação dos telhados verdes conforme a carga.

Características	Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Carga superficial	até 100 Kg.m ⁻²	de 100 a 700 Kg.m ⁻²	de 700 a 1.200 Kg.m ⁻²
Espessura Vegetal	menor que 15 cm	de 15 a 100 cm	superior a 250 cm
Espessura substrato	menor que 10 cm	de 10 a 20 cm	superior a 20 cm
Tipo de vegetação	Herbáceo extensivo	Arbustivo	Arbóreo
Manutenção	Baixa ou nenhuma	Média	Intensa

Fonte: Adaptado de Rola (2008).

Ainda de acordo com Rola (2008), as coberturas verdes podem ainda ser divididas em outra nomenclatura como em sistemas: completo, modular e manta vegetativa pré-cultivada, além de outros sistemas que estão surgindo com a expansão do mercado com alta tecnologia.

Em todos os casos, o uso de uma variedade de plantas diversifica o telhado verde e contribui para o sucesso da cultura, já que algumas espécies podem ter dificuldade na adaptação e outras possam se estabelecer facilmente. O desenvolvimento das plantas tem sempre o caráter sazonal, pois os períodos de máximo desenvolvimento alternam-se entre si; tem um bom aspecto estético e o telhado verde não fica comprometido quando uma doença ataca uma determinada espécie, a variedade de plantas favorece os aspectos fitossanitários do telhado verde.

Em se tratando de telhados verdes extensivos, existem empresas especializadas que confeccionam módulos pré-elaborados que facilitam a instalação rápida de telhados verdes conforme as necessidades de cada local. Estes módulos podem ser fabricados utilizando-se materiais reciclados, como fibra de coco, solas de sapatos, garrafas pet e etc. e podem ser transportados com o substrato e vegetação já crescida, tornando fácil o manuseio, sendo aplicados por sistema de encaixes, permitindo um resultado imediato.

Estes sistemas de telhados verdes extensivos pré-elaborados podem ser divididos, conforme o tipo de sistema construtivo, em Modular, Alveolado e Laminar. A descrição destes sistemas é feita a seguir.

2.1.6.1 Telhado Verde Modular

Normalmente empregado para coberturas extensivas, sendo que um sistema intensivo pode ser projetado, mas com exclusividade devido à dimensão de sua complexidade.

Os módulos normais têm 400 x 500 x 50 mm e capacidade de armazenamento de água de 16 l/m² com massa saturado de 80 kg/ m² (SILVA, 2008). Pode ser usadas em coberturas planas ou inclinadas. Nas versões com reservatório de água garantem até 44 dias sem irrigação no inverno e se a vegetação for de algumas suculentas toleram até 88 dias sem água. Pode haver variação de tamanho e forma de acordo com o fornecedor. Feito de material biodegradável que se dissolve e se incorporam no substrato.

Já segundo Gomes *et al.* (2011) e Rola (2008), o sistema que tem patente de telhado verde, pela Ecotelhado (empresa gaúcha) pesa 50 kg/m². Pode ser colocado em qualquer tipo de telhado ou laje impermeabilizada (Figura 6). É composto por módulos já vegetados que são colocados lado a lado sobre uma membrana anti-raízes e outra para retenção de nutrientes. Este método é de rápida instalação.

É um sistema que apresenta espessura variando de 7,5 a 30 cm, composta pelo substrato rígido mais substrato leve e agrega nutrientes essenciais para retenção da água e drenagem do excedente. A vegetação necessita ser composta por plantas adaptadas a solos rasos, resistentes à seca e de baixa manutenção como Sedum e Suculentas, que já estão consolidadas prontas para a aplicação, com grande facilidade de transporte, pesa 50 kg.m⁻² e pode ser colocado em qualquer tipo de telhado ou laje. (ECOTELHADO, 2014)

Figura 6 - Composição de Telhado Verde Modular.
Fonte: ECOTELHADO, 2014

2.1.6.2 Telhado verde alveolar

Esse sistema se caracteriza pela presença da membrana alveolar (com pequenas cavidades), responsável por ótima reserva de água. Permite ser instalado com ou sem substrato, sem vegetação ou pré-vegetado, e ser vegetado no local (GOMES, 2011).

O sistema de telhado verde alveolar simples (Figura 7) é bastante prático e possui um excelente custo-benefício, conta com boa reserva de água e se

adapta a variadas plantas. Sua massa é de 40 a 80 kg/m² e é recomendado fazer irrigação. Possui membrana antirraiz de PEAD de 200 micras, a membrana alveolar com 2 cm, a membrana de retenção de nutrientes, o substrato leve com 1 cm ou mais e a vegetação.

Figura 7 - Composição de Telhado Verde Alveolar.
Fonte: ECOTELHADO, 2014

No caso de ser utilizado em locais com possível pisoteio, pode ser adicionado um reforço de uma grelha Tridimensional de PEAD para telhados, permitindo uma maior variedade de plantas, sendo perfeito para coberturas com grama, onde sua massa é de 40 a 80 kg / m² e também requer irrigação.

2.1.6.3 Telhado verde alveolar modular

O Sistema Alveolar Modular (Figura 8), também permite variedade de plantas, tem perfeita drenagem devido ao módulo, sua massa é de 60 a 80 kg/m². Também é recomendado fazer irrigação. Tem a utilização de módulos que podem ter na sua composição resíduos de EVA (etil vinil acetato) moídos e aglutinados com cimento e preenchimento com substrato nutritivo funcionando como um xaxim artificial.

Segundo Silva (2011), neste sistema são adicionadas três membranas a mais que no modular, são elas: (i) Membrana anti-raízes de polietileno de alta

densidade;(ii) Placa alveolar que retém a água e por baixo forma canais drenantes com 2 cm; e (iii) Membrana filtrante que retém os nutrientes, reforçando o sistema.

Figura 8 - Composição de Telhado Verde Alveolar Modular.
Fonte: ECOTELHADO, 2014

Além das membranas acrescentadas, possui um módulo com função de evitar a erosão e compactação do solo e promove a aeração do substrato. A camada de substrato tem 1 cm ou mais, onde cada 10 litros correspondem a 1 cm de altura. Comportam maior variedade de plantas, inclusive as nativas. Amassa saturado deste sistema é de 60 a 80 kg/m², como aponta Silva (2011).

Segundo Feijó (D'ELIA, 2011), a laje se mantém sem umidade graças a um sistema que quando saturado, a planta deixa vazar o excedente pelas laterais das placas, que possui espaços vazios na parte inferior, conduzindo esse excedente em toda a extensão da laje até o ralo de drenagem, ficando só o restante da água necessário todo retido na parte superior da placa (ECOTELHADO, 2014).

2.1.6.4 Telhado Verde Laminar

O sistema Laminar tem a característica de utilizar uma lâmina d'água sob um piso elevado feito de módulos de sustentação, garantindo suprimento de água de até 40 l/m² e só devem ser usados em telhados completamente planos (Figura 9). Suportam ter vários tipos de forrações e pequenos arbustos. Tem massa total de 120 Kg/m², quando saturado e pode sofrer variações por causa do tamanho da vegetação escolhida (SILVA, 2011). São feitos de material poroso e rígido que

retém a umidade e os nutrientes, mas permite a passagem da água que é regulada por um ladrão. Isso mantém a lamina d'água em 4 cm. Um ralo sifonado fica dentro de uma caixa de inspeção para facilitar a manutenção, que deve ocorrer duas vezes ao ano, de acordo com o fabricante (ECOTELHADO, 2014).

Esse sistema tem 16 cm de altura. É ideal para gramado, pois mantém a umidade ideal através da lamina d'água e permite também a purificação de águas cinza para posterior utilização (SILVA, 2011).

Na estrutura do sistema laminar, os módulos são posicionados sobre a laje impermeabilizada com os vasos para baixo. Eles são cobertos com uma manta que os separa das raízes, sobre a qual se dispõe uma camada de substrato fibroso, onde será plantada a grama.

A empresa Ecotelhado fornece um sistema laminar que forma um ecodreno sob o piso capaz de armazenar 200 L/ m² e pode também ser usados em terraços e lajes planas, mas a sobrecarga é de 250 kg/ m², sendo ideal para regiões secas que requerem irrigação mais frequentes. Os drenos são preenchidos com cinasita e o substrato tem em torno de 4 cm, é um sistema que tem maior opção de plantio, conforme projeto paisagístico (ECOTELHADO, 2014).

É ideal para regiões de seca pela quantidade de água que retém. Nele pode-se usar grande variedade de coberturas verdes e pequenos arbustos.

Figura 9 - Composição do Telhado Verde Laminar.
Fonte: ECOTELHADO, 2014

2.1.7 Vantagens da utilização de coberturas verdes

Conforme vem sendo constatado por pesquisadores e usuários, o telhado verde pode apresentar benefícios consideráveis relacionados à sustentabilidade ambiental, os quais são explanados na sequência.

2.1.7.1 Retenção de água da chuva

Conforme estudos desenvolvidos pelo “Bureau of Environmental Services”, na cidade de Portland, no Oregon – EUA, durante as chuvas intensas os telhados verdes podem absorver quantidades significativas de precipitação e reter ou retardar o escoamento de águas pluviais. A água vai ficando retida nos materiais constituintes das diferentes camadas da cobertura verde, tais como: camada de vegetação, camada de substrato e a camada de retenção de água e de drenagem (Figura 10).

Figura 10 - Escoamento pluvial em uma cobertura verde e em um telhado convencional, respectivamente.
Fonte: Cunha e Mediondo (2004)

Nos estudos que foram feitos na cidade de Portland (EUA), foi verificado uma retenção do volume da água entre 10-35% durante a estação chuvosa e 65-100% durante a estação seca. Ocorreu também, uma redução do pico de fluxo, ou seja, em todas as tempestades verificou-se a redução nos picos de vazão. Cantor (2008) constatou que, na área de estudo, a redução da taxa de drenagem pode ser em torno de 35%.

No Brasil, na cidade de São Carlos - SP, em um estudo sobre Coberturas Verdes Leves (CVL's) desenvolvido por Cunha e Mediondo (2004), foi observado que a capacidade de absorção de água pluvial, partindo de um solo seco, foi de aproximadamente 14 mm por evento e também ficou evidenciado que a cobertura verde foi capaz de absorver a água pluvial no momento de maior intensidade de chuva. Estes resultados demonstram que a Cobertura Verde Leve gera um retardamento no escoamento de águas pluviais de aproximadamente 14 mm de chuva, em comparação com uma cobertura convencional, onde a maior parte deste fluxo seria conduzido rapidamente para a rede pública de drenagem urbana, gerando um acúmulo grande de água, podendo ocasionar inundações.

Porém, conforme afirma Cantor (2008), mesmo que a quantidade de água retida por um telhado verde seja mensurável, o impacto na bacia de um sistema de drenagem de águas pluviais seria o combinado de uma série de telhados verdes para conseguir um efeito significativo. Com a utilização de telhados verdes em maior escala, os sistemas de captação de água de chuva poderiam ser dimensionados de tamanho menor, eliminando em muitas cidades a necessidade da construção de grandes reservatórios para armazenar os excessos de água que ocorrem em dias de grande pluviosidade. Este efeito combinado, do uso em grande escala de telhados verdes, está sendo modelado em várias cidades, como Washington DC (EUA), Winnipeg e Toronto (Canadá), visando estimar os benefícios ao longo do tempo.

Assim, as pesquisas tem demonstrado que o uso dos telhados verdes pode ser uma maneira eficiente para a prevenção e combate às enchentes. Em decorrência destes estudos, a tecnologia de telhado verde está cada vez mais recebendo a aprovação na gestão de águas pluviais.

2.1.7.2 Melhoria da qualidade da água da chuva

O uso racional da água potável e a preservação e conservação dos recursos hídricos tornam-se muito importantes em face da escassez de água que pode nos atingir nas próximas décadas.

A água da chuva excedente, que não fica retida nas camadas do telhado verde, apresenta redução de agentes poluidores pela ação da vegetação, substrato e demais camadas que funcionam como filtros. Esta água com melhor qualidade pode ser despejada diretamente no sistema de captação de águas

pluviais e direcionada aos córregos e rios. Estes afluentes podem manter-se protegidos, pela qualidade da água recebida e, como o volume escoado será menor, não degrada as margens e nem transporta materiais indesejáveis, pois quanto maior a permeabilidade, menor o volume de poluição.

Outro aspecto a ser considerado é que a água da chuva pode ser recolhida em cisternas a partir dos telhados verdes e utilizada para fins não potáveis, reduzindo bastante o consumo da água potável. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007) regulamenta o uso da água de chuva através da Norma NBR 15527, que fornece requisitos para o aproveitamento das águas de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Conforme Ferreira e Moruzzi (2007) comprovam em seus estudos, o telhado verde pode ser conjugado a um sistema de aproveitamento de água de chuva, porém devemos levar em consideração alguns fatores que podem influenciar significativamente a qualidade da água captada, tais como: composição do substrato, vazão do escoamento, tipos de vegetação e tempo de estabelecimento da vegetação.

Existem também alguns fatores que influenciam na quantidade de água disponibilizada pelo sistema para a utilização não potável, tais como: a área de captação; a profundidade do substrato; a capacidade de evapotranspiração da vegetação; o intervalo e a quantidade de chuvas.

2.1.7.3 Redução do calor externo

Nos ambientes edificadas das grandes cidades, com grandes quantidades de materiais de cor escura, durante o dia ocorre a absorção de calor nos pavimentos, principalmente no asfalto, e nas construções, e a posterior liberação do calor absorvido durante a noite. Conforme Cantor (2008), a energia solar é convertida em calor, que paira no ar em torno do edifício, de modo que há a necessidade do uso de ar condicionado, aumentando o gasto em energia. O que explica que, nestes grandes centros urbanos, a temperatura é mais quente do que nas áreas suburbanas ou rurais.

Porém, com o maior uso de coberturas verdes nestes centros urbanos, pode-se melhorar o conforto térmico utilizando as propriedades térmicas das vegetações, que ao entrarem em processo de evapotranspiração esfriam a temperatura ambiente do edifício. Se telhados verdes fossem instalados em

largaescala teriam um potencial para mitigar o efeito ilha-de-calor. A contribuição da vegetação, neste caso, é que permite a evapotranspiração sazonal, ou seja, diferentes espécies têm seu ciclo biológico variável com a estação do ano (Figura 11).

Figura11 -Evapotranspiração, Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia.
Fonte: Greenroofs (2014).

2.1.7.4 Isolamento térmico e acústico

Os telhados verdes, em virtude de todas as camadas que são necessárias para a sua instalação, tais como: a vegetação, o substrato, as membranas de impermeabilização; toda esta espessura acaba por agir como um meio isolante térmico e acústico, ou seja, elas funcionam como barreiras acústicas, diminuindo o volume do som de barulhos provenientes do exterior, que acabariam penetrando com mais facilidade na edificação e, da mesma forma, cria-se uma resistência na transmissão de energia. Isto faz com que ocorra uma redução na necessidade de uso de ar condicionado no verão e de aquecimento no inverno.

Conforme Gonçalves e Duarte (2006), a aplicação de técnicas como o do telhado verde pode em determinadas regiões, em decorrência do clima, ter uma contribuição além do esperado, chegando a um cenário com o consumo de energia para a climatização nula, porém com condições ambientais favoráveis.

2.1.7.5 Melhorador da qualidade do ar

A vegetação do telhado verde, pelo mecanismo da fotossíntese, aprisiona o carbono filtrando o ar e liberando o oxigênio. Ela interage com os fluxos de ar, direcionando ventos, sendo que o fluxo dos ventos pode variar conforme a densidade do vegetal e o distanciamento em relação às edificações vizinhas (ADAM, 2001).

O telhado verde possui a capacidade de filtrar partículas de poeira efúlgem do ar, manter a deposição atmosférica e retardar a degradação dos materiais que compõem o telhado, reduzindo as cargas poluentes no ar.

2.1.7.6 Reforço do ecossistema

O telhado verde funciona como um reforço do ecossistema, mesmo que seja habitat somente para insetos e pássaros. Um resultado desejado de qualquer projeto de desconstrução seria uma paisagem e um ecossistema que são regenerados e aperfeiçoados como uma consequência deste projeto.

A Environmental Building News (EBN) fornece um roteiro para ajudar aos profissionais a restaurar a vitalidade dos ecossistemas naturais. Embora o estudo seja amplo, é muito útil para a restauração de ecossistemas em geral (KIBERT, 2008).

Ao utilizar plantas nativas da região, onde o telhado verde está inserido, permite, com mais facilidade, que se restabeleça a presença de vida nativa.

2.1.7.7 Estética e recuperação de área verde

Um benefício do telhado verde é a inclusão ao meio ambiente dos grandes centros urbanos de um visual mais ameno e contemplativo. Um espaço verde visível possui suas vantagens ao invés de uma telha comum, que possui um visual mais triste. E também, ocorre uma recuperação parcial de uma área verde que havia sido perdida com a locação das edificações (CANTOR, 2008). Esta área pode

ser revertida às propriedades, públicas ou privadas, oferecendo uma alternativa de recreação passiva.

Em ambientes urbanos muito densos, tal solução acaba por amortecer ruídos e eliminar brilhos provenientes de alguns tipos de telhados convencionais (CANTOR, 2008).

2.1.7.8 Custos x Benefícios econômicos

Conforme Cantor (2008), o custo do telhado verde é bastante variável, ou seja: em novas edificações, fica entre 54 a 130 USD/m² e, em substituição aos telhados já existentes nas edificações, fica entre 75 a 215 USD/m², variando conforme a quantidade de mão de obra e estruturas que sejam necessárias para a sua implantação. Para efeito de comparação, um telhado comum possui um custo variando entre 22 a 108 USD/m² nas obras novas e entre 43 a 161 USD/m² nas reformas (CANTOR, 2008). Porém, um maior custo para a instalação dos telhados verdes pode ser compensado pelos diversos benefícios que são propiciados como seu uso.

O telhado verde propicia uma economia de energia em relação à necessidade de uso de equipamentos para resfriamento ou aquecimento dos ambientes. Em regiões onde há necessidade de maior isolamento térmico e acústico nas construções, há uma redução na utilização de materiais isolantes, pois a cobertura de uma edificação é um ponto vulnerável para perda de calor.

Com a utilização de telhados verdes ocorre uma redução no volume de água que é despejado nas galerias de águas pluviais e, nos locais onde existem taxas para o uso destas galerias, há uma redução nestas taxas em consequência do volume menor dispensado pelas edificações que possuem telhados verdes.

Quanto à durabilidade, enquanto em um telhado comum a proteção é pouca e, em decorrência da exposição de seus elementos, a sua duração é menor do que 20 anos; no telhado verde, ocorre a formação de uma camada de proteção à prova de água, que protege do sol e das variações de temperatura por mais de 36 anos. Embora o custo inicial de um telhado verde seja maior do que um telhado convencional, ao longo do tempo o telhado verde prolonga sua vida útil, protegendo-o da exposição direta aos raios ultravioleta e outras radiações nocivas (CANTOR, 2008).

2.1.8 Componentes do telhado verde

Para definir seus componentes, Cantor (2008) faz uma alusão das camadas do telhado verde às finas camadas de um sanduíche, onde a camada superior seria a da vegetação e a inferior seria a plataforma do telhado. Assim de cima para baixo, estas camadas incluem: vegetação, substrato, filtro de tecido de drenagem e camadas de retenção de água, camada de proteção anti-raiz, isolamentos, impermeabilização e um terraço ou pavimento (Figura 12).

Figura12 – Componentes do telhado verde.
Fonte: KNOPIK, F (2014)

2.1.8.1 Vegetação

São poucas as semelhanças entre um ambiente de telhado e um jardim ao nível do chão. O calor, a luz solar e o vento são mais intensos em um telhado e

as qualidades do solo, como os conteúdos orgânicos, que são valiosos em um jardim ao nível do solo, podem ser indesejáveis em um telhado, podendo, em quantidade, levar à degradação e perda do volume de cultura (SNODGRASS e McINTYRE, 2010). Muitas plantas não conseguem prosperar ou até mesmo nem sobreviver em um ambiente assim.

Sobre a questão dos ventos, as plantas escolhidas precisam ter uma boa ligação das raízes com o meio, suportando a ação dos ventos e impedindo deslocamentos. No caso de telhados extensivos, com manutenção baixa, a vegetação escolhida precisa ter a capacidade de sobreviver em períodos de estiagem, além de promover uma boa evapotranspiração. De acordo com Snodgrass e McIntyre (2010), a folhagem das plantas deve possuir superfície suficiente para sombrear o meio, impedindo a germinação de sementes de ervas daninhas. Deve ser de vida longa, eliminando o desperdício de substituições inúteis e dispendiosas.

As plantas mais utilizadas em cobertura verdes na região sul são: (i) Carpete-dourado (*Sedum acre*): Espécie de suculenta (planta capaz de armazenar água) de baixo porte que sobrevive bem em solo raso e exige cuidados simples: dispensa poda, exige água e aguenta períodos de seca, mas não pisoteio; (ii) Cacto-margarida (*Lampranthus productus*): planta rasteira da família das suculentas floresce durante a primavera e o verão. Encara o clima frio, mas não o pisoteio. Exige água apenas nos dias mais secos e adubação semestral; (iii) Echevéria (*Echeveria glauca*): Rústica como toda a família das suculentas, pode ser tratada como carpete-dourado, com regas apenas em caso de seca prolongada, sem exigir poda. Pede adubação semestral e não resiste a pisoteio; (iv) Grama-amendoim (*Arachis repens*): Proporciona forração densa, com flores amarelas em boa parte do ano. É mais indicada para áreas sem pisoteio, dispensa podas regulares e suporta períodos de seca, embora sofra com geadas; e (v) Grama-esmeralda (*Zoysia japonica*): Resistente ao pisoteio, é um dos tipos mais rústicos entre as gramíneas. Para que fique viçosa, depende de rega quando a chuva for insuficiente. Adubação semestral e poda periódica a mantêm homogênea. O plantio de grama, apesar de ser o mais praticado, não é tão recomendado, pois exige muita água e freqüentes podas, o ideal é utilizar plantas de baixo porte que não exigem poda e requerem pouca água.

2.1.8.2 Substrato

Para esta camada, a variedade de composição é extensa, porém precisam ser suficientes em relação a necessidades das plantas em absorver a umidade e nutrientes necessários. O substrato é para as plantas de um telhado verde o mesmo que o solo é para as plantas de um jardim. Apesar de parte dos profissionais se referirem a este meio de cultura como “solo”, Snodgrass e McIntyre (2010) afirmam que a maioria do meio utilizado em telhados verdes extensivos tem pouca semelhança com o solo do jardim ou campo. A caracterização do meio de cultura não é de textura fina, macia e de terra, para que quando estiver molhado não ficar lamacento ou pegajoso. A sugestão é utilizar partículas de granulometria maior do que as areias, silte e argila que compõem o solo. Seu aspecto, ao toque, é arenoso.

Fazendo uma comparação entre os substratos de telhado verde e os solos de campo, percebe-se que, em média, os telhados verdes possuem substratos leves e soltos, não se compactam por sua massa próprio, o que é muito bom para a permeabilidade. Os solos de campo são pesados demais e, como na sua composição há partículas finas que facilmente se deslocam, em longo prazo, causam problemas de permeabilidade.

Em geral, os substratos necessitam possuir as seguintes qualidades: boa drenagem; aeração e consistência; estrutura que lhe permite reter a água para a absorção pelas plantas; capacidade de tornar acessível aos nutrientes de plantas e raízes através da capacidade de troca de cátions; resistência à decomposição e compressão; massa leve; e estabilidade física e química (FRIEDRICH, 2005 *apud* SNODGRASS e MCINTYRE, 2010).

Segundo Cantor (2008), em geral, os substratos inorgânicos são os preferidos, com alguns aditivos para se adequar às condições específicas de cada instalação. Substratos que estão disponíveis local ou regionalmente reduzem o custo de transporte, embora tal disponibilidade nem sempre é possível. Quando possível, substratos locais são úteis para o crescimento de plantas nativas, onde as condições são semelhantes às naturais. O substrato escolhido prevê e limita os tipos de materiais vegetais selecionados.

Os materiais comumente utilizados são: os agregados de argila expandida de xisto ou ardósia; e material vulcânico, como pedra-pomes e perlita. Porém, no caso dos agregados expandidos, eles exigem muita energia para

serem produzidos, o que seria ruim diante da escolha de materiais mais sustentáveis. Já materiais de origem vulcânica possuem disponibilidade em regiões específicas, mas longe, tornando os custos de transporte altos e, em comparação com os materiais expandidos, podem acabar por aumentar a sua pegada de carbono (SNODGRASS e McINTYRE, 2010). Para Cantor (2008), alguns substratos típicos são: argila expandida, lava, pedra-pomes, terracota, argila calcinada, ardósia expandida ou tijolo.

Materiais originados das regiões vulcânicas não são produzidos no Brasil, onde se pode optar por compostos alternativos como a vermiculita que é um mineral com a estrutura da mica, expandido em fornos de alta temperatura. Pode ser utilizada devido à sua alta retenção de água, elevada porosidade e baixa densidade e pH em torno de 8,0.

Assim, há necessidade de pesquisar em cada região diferentes compostos e composições para a busca de um substrato ideal, que apresente características recomendadas anteriormente e possam contribuir quanto à sustentabilidade.

2.1.8.3 Camada filtrante

Esta camada é composta por uma manta filtrante, bidim ou geotêxtil, que separa a parte inferior do substrato da camada de drenagem. Embora seja de pouca espessura, é um elemento fundamental, pois retém os nutrientes do substrato e impede que as partículas finas obstruam a camada de drenagem, danificando todo o sistema.

2.1.8.4 Camada de drenagem

Esta camada pode ser composta por material sintético, como: manta sanduíche geotêxtil, placas alveoladas, formas grelhadas, tubos perfurados, cones perfurados dentre outros. ou de material mineral granulado com grande permeabilidade, como: argila expandida, cacos de tijolo, pedra pome, seixos, dentre outros. A função desta camada é recolher o excesso de água, que não sendo absorvida pelas plantas e substrato, é recolhida e direcionada para o sistema de águas pluviais ou um local de armazenamento e reuso no próprio telhado. Eventualmente, esta água pode ser direcionada a uma cisterna e ser reaproveitada,

tomando o cuidado de observar as épocas de aplicação de adubo químico no telhado verde.

2.1.8.5 Camadas de retenção de água

Esta também é uma camada alternativa, ela pode ser composta por placas ou formas de plástico alveoladas, com reentrâncias, ou recipientes de diversas capacidades, na superfície superior para captar ou reter água. Assim sendo, ela aumenta a capacidade natural de retenção da água do telhado verde. Cantor (2008) afirma que as placas, quando devidamente instaladas, chegam a reter 0,1 a 0,5 litros por metro quadrado. A água armazenada nesta camada é absorvida diretamente pelas plantas e ainda ajuda a manter a umidade do substrato.

2.1.8.6 Camada de proteção

Esta camada serve para impedir que as raízes penetrem na impermeabilização e causem vazamentos, para este fim, normalmente são utilizadas membranas termoplásticas, embora em algumas montagens de telhados verdes possam ser utilizadas membranas de cobre e produtos químicos retardadores de raiz. Porém, segundo Cantor (2008) este tipo de procedimento não é aconselhável por se tratar de um procedimento que pode causar danos ambientais, como, por exemplo, a contaminação da água pelo cobre e agentes químicos. Neste caso, através de um estudo aprofundado sobre a seleção de plantas e a camada de substrato, tem-se a possibilidade de minimizar a penetração de raízes. A Europa possui um número considerável de informações sobre as suas plantas e comumente se utiliza deste método para aplicar em seus telhados verdes.

2.1.8.7 Camada de impermeabilização

A camada de impermeabilização é imprescindível, pois, havendo infiltração de água na estrutura da edificação, diminui sua vida útil além de causar transtornos para quem ocupa o local. Os materiais existentes no mercado para executar a impermeabilização do pavimento são variáveis e, para defini-los, é necessário, também, um projeto especificando o material ideal ao tipo de pavimento que irá receber a camada de impermeabilização. O material mais utilizado para este fim é a aplicação de manta asfáltica. Segundo a National Roofing Contractors Association (2007), é recomendado, dentre outras, uma membrana

isolante para telhado verde, composta por uma camada com 5,4mm de espessura mínima com tecido entelado reforçado, uma camada de asfalto quente e uma camada de manta asfáltica.

2.1.8.8 Camada de isolamento térmico

Conforme o local onde será executado o telhado verde, esta camada por ser excluída em decorrência do clima. Ela seria adicional e tem a função de limitar o ganho ou perda de calor (CANTOR, 2008). Sua utilização torna-se apropriada em regiões muito frias, onde é necessário conservar o calor nas edificações. É preciso que este tipo de isolamento tenha a característica de leveza e possua resistência à compressão, de modo que não sofra esmagamento pela massa dos materiais das camadas posteriores. O material mais utilizado, neste caso, é o poliestireno expandido.

2.1.8.9 Superfície de apoio

Os telhados verdes podem ser executados sobre diversos tipos de superfícies de apoio, tais como: lajes de concreto armado, lajes pré-fabricadas, além de estruturas em aço em composição com o concreto. Entretanto com o desenvolvimento da tecnologia, tem-se ainda a possibilidade de aplicar esta técnica sobre superfícies de madeira compensada ou pranchas de madeira com encaixe “macho-e-fêmea”. O tipo de impermeabilização, para cada caso, precisa ser adequado, pois cada material possui características próprias.

Nas edificações novas, os pavimentos precisam ser construídos em conformidade com as especificações de carga planejada para o telhado verde. Estas cargas variam de acordo com o tipo de vegetação escolhida e seu substrato. Em construções existentes, é necessário fazer uma profunda investigação da estrutura e planejar o tipo de cobertura verde que a edificação poderá receber.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local dos estudos

Os experimentos foram realizados nas instalações do campus do Instituto Federal Farroupilha na cidade de Júlio de Castilhos – RS e laboratório de física do solo da ESALQ em Piracicaba - SP.

3.2 Materiais utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados dez tipos de substratos que foram pré-selecionados de acordo com suas características, disponibilidade no mercado, de fácil obtenção e de melhor custo benefício ambiental na região sul.

Foram selecionados cinco tipos de substratos mono componentes, ou seja, materiais que são comercializados na forma pura, sem a mistura de outros materiais, são eles: (i) Dois tipos de turfa, uma mais intemperizada, Turfa Preta (TP) e outra menos intemperizada, Turfa Marrom (TM), provenientes da empresa Cominas S.A; (ii) Dois tipos de fibra de casca de coco, uma com granulometria mais fina e granular (CG) e outra composta somente da parte fibrosa do mesocarpo do coco (CF), Provenientes da empresa Amafibra S.A; e (iii) um substrato composto somente de casca de pinus (CP), proveniente da empresa MecPlant S.A.

Além destes materiais na forma pura, foram selecionados para este estudo cinco tipos de substratos compostos comerciais que são recomendados para diversos cultivos, são eles: (i) Três tipos de substratos comerciais à base de cascas de Pinus e vermiculita em diferentes proporções, Substrato para espécies hortícolas (SH) Substrato para mudas florestais (SF); - Substrato para mudas de tabaco (ST); provenientes da empresa Mecprec S.A; e (ii) Por fim, foram utilizados também, dois substratos bastante comercializados no Brasil por serem de uma empresa de grande porte que atua em todas as regiões, o substrato Rendimax (RM), composto por casca de pinus, vermiculita expandida e carvão moído, e, o substrato Plantimax (PM), que além dos componentes citados anteriormente, possui turfa em sua composição.

3.3 Procedimentos

3.3.1 Métodos para caracterização física

A metodologia adotada para realizar a caracterização física dos substratos foram os seguintes:

3.3.1.1 Densidade

Para a determinação das densidades úmida e seca foi empregado o método descrito por Hoffmann (1970) e utilizado pela Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha (VDLUFA), para análise de substratos hortícolas (Röber e Schaller, 1985).

Este método consiste em preencher uma proveta plástica transparente e graduada, de 250 ml, com o substrato, com umidade próxima a 50 % (quando a amostra ao ser comprimida entre os dedos mantém-se aglutinada, sem formar torrão). Após, esta proveta é deixada cair sob a ação do seu próprio peso, de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas. Com auxílio de uma espátula nivela-se a superfície levemente, e lê-se o volume obtido. Em seguida, pesa-se o material úmido e leva-se à estufa para secagem a 105°C, quando mineral, ou 65°C, quando orgânico, por 48 horas ou até massa constante.

Os valores das densidades de volume (média de duas amostras) foram obtidos aplicando-se as seguintes fórmulas:

$$(i) \rho_u = \frac{m_u}{V} \cdot 10^{-3}$$

$$(ii) \rho_s = \frac{\rho_u}{100} \cdot \frac{m_s}{m_u}$$

Onde: ρ_u se refere à densidade do material úmido (Kg.m⁻³); m_u se refere à massa do material úmido (g); V se refere ao volume da amostra (cm³); ρ_s se refere à densidade do material seco; e m_s é a massa seca do material.

3.3.1.2 Disponibilidade de água, porosidade total, espaço de aeração

A determinação da água disponível, porosidade total e espaço de aeração foi feita através de curvas de retenção de água nas tensões de 0, 10, 50, e 100 cm de altura de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, 10, 50 e 100 hPa, conforme De Boodt e Verdonck (1972). Utilizou-se o seguinte procedimento: a)

vedação do fundo dos anéis (cilindros metálicos) com tecido de nylon preso por um atilho de borracha e pesagem destes anéis; b) preenchimento dos anéis metálicos, de 66,19 ml de capacidade (5,3cm de diâmetro e 3,0 cm de altura), com os substratos; a quantidade foi calculada através da densidade úmida dos mesmos, para garantir a uniformidade de volume; c) colocação dos anéis em bandejas plásticas com água até 1/3 de sua altura, para saturação, por 24 horas; d) retirada dos anéis da água; e) pesagem dos anéis. O volume de água contida na amostra neste momento corresponde ao ponto zero de tensão, equivalendo à porosidade total; f) transferência dos anéis para os funis de vidro (25 cm de diâmetro superior interno), com uma base de placa porosa (pressão de 1 bar e alta condutância) de mesmo diâmetro; g) ressaturação dos cilindros, por 24 horas, com uma lâmina de 0,5 cm abaixo da borda destes; h) ajuste da tensão para 10 cm de coluna de água (10 hPa); i) permanência nos funis até atingir equilíbrio (cerca de 48 horas); j) pesagem; k) retorno dos anéis aos funis; repetição dos itens g, h e i, para as tensões 50 e 100 cm de coluna de água (50 e 100 hPa); l) pesagem; e m) secagem das amostras em estufa a 105°C, para materiais minerais, ou 65°C para materiais orgânicos, por 48 horas ou até massa constante, para determinação dos teores de umidade e massa da matéria seca.

A construção das curvas de retenção de água foi efetuada com os valores de umidade volumétrica obtidos através dos percentuais de água retida para cada tensão (média de três amostras).

De posse destes dados, foram obtidas as seguintes características: a) Porosidade Total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0hPa); b) Espaço de Aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão de 10 cm de coluna d'água (10 hPa); c) Volume de sólidos (VS): diferença obtida entre o volume total e a porosidade total; d) Água Disponível (AD): volume de água liberado entre 10 e 100 cm de coluna d'água (10 e 100 hPa); e) Água Remanescente 100 cm (AR100): volume de água que permanece na amostra após ser submetida à pressão de sucção de 100 hPa, equivalente a "água de microporos", termo descrito por Haynes e Goh (1978).

f) Capacidade de Retenção de Água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

3.3.1.3 Granulometria

Para a realização desta análise foi utilizada uma amostra de 100g de substrato, seco ao ar, e colocada sobre um jogo de peneiras (Figura 13), acoplado a um agitador mecânico, por três minutos. As malhas das peneiras empregadas apresentavam 4,00 - 2,00 - 1,00 - 0,50 - 0,125mm. Após a agitação, o material retido em cada peneira foi seco e pesado sendo o valor determinado utilizado para cálculo da percentagem sobre o massa da amostra (média de três amostras).

Figura 13 - Jogo de peneiras acoplado ao agitador para o cálculo da granulometria. Laboratório de física do solo do CENA – ESALQ. Piracicaba, 2014.

3.3.2 Métodos para a caracterização química

3.3.2.1 Valor de pH

As leituras do valor de pH foram feitas em suspensões de substrato:água deionizada na proporção de 1:2,5 (v:v), através de potenciômetro (média de três amostras).

O método consiste em: a) colocar, em Becker de 100 ml, 20 ml da amostra (calculado segundo a densidade úmida) e 50 ml de água deionizada; b) homogeneizar as suspensões com bastão de vidro logo após colocação da água, e depois de 30 minutos e uma hora; c) fazer a leitura com potenciômetro previamente

calibrado; e d) lavar o eletrodo após cada leitura com água deionizada e secar empapel toalha.

3.3.2.2 Teor total de sais solúveis

Para a determinação do Teor Total de Sais Solúveis (TTSS) o método utilizado foi o proposto pela VDLUFA (RÖBER; SCHALLER, 1985). A condutividade do extrato, expressa como teor de KCl, determina o Teor Total de Sais Solúveis de uma suspensão de substrato:água deionizada, na proporção 1:10 (massa:volume), através dos seguintes passos (média de duas amostras): a) colocar em frasco "snap-cap", 20 g de substrato e 200 ml de água deionizada; b) agitar por 3 horas em agitador mecânico; c) deixar em repouso até decantação das partículas; d) havendo necessidade, proceder à filtração das suspensões com papel de filtro ou centrifugação; e) fazer leitura em condutivímetro, da condutividade elétrica do material filtrado; f) realizar uma prova em branco para ajustes devido ao uso do papel filtro para a filtração; e g) expressar os resultados em gramas de KCl por litro de substrato, através dos seguintes cálculos:

$$TTSS = \frac{56,312 \cdot y \cdot \rho_u}{100.000}$$

Em que **Y** se refere à leitura do condutivímetro em Siemens; 56,312 é o fator de correção para expressar a condutividade em mg de KCl/ por 100g de substrato e ρ_u se refere à densidade do material úmido (Kg.m^{-3}).

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas utilizam o delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema fatorial com três repetições e utilizando o programa estatístico SAS para auxiliar na análise e confecção dos gráficos e discussões.

Quando o teste “F” para tratamentos da análise de variância foi significativo, as médias foram comparadas com o uso do teste de Tukey com nível de significância de 5%.

O teste de Tukey é um dos testes de comparação de média mais utilizados, por ser bastante rigoroso e fácil aplicação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características químicas

O resumo das características químicas determinadas para os substratos mono componentes e para os substratos compostos comerciais estão representados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Características químicas dos substratos: CP, CG, CF, TP, TM e substratos compostos comerciais: SH, SF, ST, PM, RM. Júlio de Castilhos, 2013.

Material	Componentes	Fornecedor	pH (água)	TTSS (kg.m ⁻³)
CP	Casca de pinus	MecPlant	3,9 (C)	1,84 (B)
CG	Casca de coco granular	Amafibra	4,2 (C)	1,52 (C)
CF	Casca de coco fibrosa	Amafibra	3,8 (C)	1,28 (C)
TP	Turfa preta	Cominas	3,4 (D)	2,66 (A)
TM	Turfa marrom	Cominas	3,6 (D)	0,28 (D)
SH	Substrato para Horticultura	MecPrec	5,2 (B)	2,76 (A)
SF	Substrato mudas florestais	MecPrec	4,3 (C)	2,0 (B)
ST	Substrato pra mudas de tabaco	MecPrec	6,8 (A)	2,52 (A)
PM	Substrato Plantimax	Eucatex	5,4 (B)	1,87 (B)
RM	Substrato Rendimax	Eucatex	5,1 (B)	1,98 (B)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<5%).
TTSS= Teor total de sais solúveis em kg.m⁻³

Quanto às características químicas (Tabela 2), Os substratos a base de turfa apresentaram baixos valores de pH (entre 3,4 e 3,6), o que é uma característica típica deste tipo de material. Segundo Andriesse (1988) o valor de pH, em água, de turfas tropicais está entre 3,0 e 4,5. As turfas estudadas apresentam menor valor de pH quanto mais decompostas, evidenciando a necessidade de correção para adequada utilização em telhados verdes. Já os substratos compostos comerciais apresentam valores de pH bastante variáveis o que exige uma aplicação diferenciada de corretivos e/ou uma indicação de uso também diferenciada conforme as espécies que forem selecionadas para o uso nas coberturas verdes.

As características químicas dos materiais e substratos estudados não impedem, mas podem limitar sua utilização. Torna-se essencial a observação da necessidade de correção das turfas e a observação da indicação do fabricante dos

substratos comerciais quanto às espécies mais recomendadas e realizar o ajuste conforme as características do local e do tipo de cobertura.

Quanto aos valores obtidos de teor total de sais solúveis (TTSS), observou-se uma grande amplitude (entre 0,28 e 2,76 kg.m⁻³). Os substratos TP, SF, SH, ST apresentam altasalinidade. O substrato a base de turfa marrom (TM) foi o único que apresentou baixa salinidade (0,28kg m⁻³).

Kämpf (2000) classifica a salinidade em baixa (inferior a 1,0 kg.m⁻³), média ou normal (1,0 – 2,0 kg.m⁻³), alta (2,0 – 4,0 kg.m⁻³), muito alta (4,0 – 5,0 kg.m⁻³), extremamente alta (5,0 – 7,0 kg.m⁻³) e tóxica (superior a 7,0 kg m⁻³). Sendo assim, TP tem alta salinidade (2,66 kg m⁻³) e TM e TV têm baixos valores de salinidade (0,28 e 0,35 kg.m⁻³, respectivamente). Os substratos SH, SF e ST apresentam altos valores de salinidade (entre 2,00 e 2,6 kg.m⁻³).

Segundo Andriesse (1988), As Turfas apresentam uma maior salinidade conforme o grau de mineralização. Assim, as turfas pretas são naturalmente mais salinas do que as demais, porém a salinidade pode ser agravada pela sucessão vertical das espécies vegetais em seus ambientes característicos. Em áreas costeiras é comum, em primeiro lugar, espécies de mangue seguidas pela transição para comunidades de água salobra, pântano de água fresca e finalmente substituído por uma pobre vegetação ombrógena. Desta forma, as turfas mais decompostas, pretas, que estão nas camadas inferiores do perfil estão mais sujeitas ao acúmulo de sais provenientes da água do mar.

4.2. Características físicas

4.2.1 Distribuição do tamanho de partículas

A distribuição do tamanho das partículas, ou seja, a granulometria, é importante para descrever a qualidade física do material e sua adequação para o cultivo de determinada espécie vegetal, tendo influência determinante sobre o volume de ar e água retida pelo substrato (WALLER; WILSON, 1984). Partículas com maior diâmetro são responsáveis pela formação de poros maiores (macro poros), que são ocupados por ar. Por outro lado, partículas de menor diâmetro são responsáveis pela formação de poros menores (micro poros), que são ocupados por água. Os substratos, monocomponentes e compostos comerciais, avaliados

apresentaram diferentes distribuições do tamanho de partículas, conforme mostram as figuras 14 e 15, respectivamente:

Figura 14 - Distribuição do tamanho das partículas (%) dos substratos Monocomponentes: Casca de Pinus (CP); Casca de coco granular (CG); Casca de coco fibrosa (CF); Turfa preta (TP) e Turfa marrom (TM). Júlio de Castilhos, 2014

Ansonera (1994) cita que a granulometria dos materiais utilizados como substratos pode ser muito variável, dependendo da origem dos materiais, sistema de coleta, condições de trituração e peneiras utilizadas, entre outros fatores.

Os substratos que apresentaram a granulometria mais fina, (CG e PM), são os mais apropriados para o uso em sistemas de telhado verde com menor espessura de substrato, como o sistema alveolar simples, e na implantação de telhados verdes a partir de mudas e sementes, pois evita a formação de grandes espaços abertos dentro dos mesmos e que dificultariam o melhor desenvolvimento das raízes. No entanto deve-se tomar cuidado com a maior possibilidade de compactação, falta de aeração e entupimento da drenagem em períodos chuvosos.

Figura 15- Distribuição do tamanho das partículas (%) dos substratos compostos comerciais Substrato para horta (SH); Substrato para mudas florestais (SF); Substrato para mudas de Tabaco (ST); Substrato Plantimax (PM) e Substrato Rendimax (RM). Júlio de Castilhos, 2014

Os substratos CF, CP, TM e ST apresentaram a granulometria mais grossa, o que favorece mais a formação de macroporos e consequente aeração no substrato, porém, pelo fato de reter menos água, são mais recomendados para telhados verdes com maior profundidade de substrato, como os sistemas modulares, extensivos planos e os laminares.

Quanto aos substratos SH, SF, RM e TP, os mesmos apresentaram uma granulometria média, apresentando propriedades intermediárias, podendo ser utilizados na maior parte dos telhados verdes extensivos, devendo-se levar em consideração as demais características na escolha do melhor substrato.

4.2.2 Relação sólidos:ar:água

A representação gráfica dos componentes básicos dos substratos (sólidos, ar e água) auxilia na análise das diferenças entre as propriedades de cada material (Figuras 16 e 17).

Figura 16- Relação sólidos:ar:água dos substratos Monocomponentes: Casca de Pinus (CP); Casca de coco granular (CG); Casca de coco fibrosa (CF); Turfa preta (TP) e Turfa marrom (TM). Júlio de Castilhos, 2014

Os substratos PM, RM, CG, TP e CP apresentaram menor volume de espaço de aeração e maior volume de água disponível, quando comparados aos demais substratos estudados (ST, SF, SH, CF e TM.). Esta relação ar:água ocorre devido à presença de frações do substrato com a granulometria mais fina, responsável pela formação de micro poros.

Quanto à porosidade total, observou-se variação de 68 a 93% para os substratos monocomponentes, e de 70 a 89% para os substratos compostos comerciais. Entretanto, a porosidade total, isto é, a diferença entre o volume total e o volume de sólidos de um substrato, é considerada como um parâmetro pouco informativo, pois não especifica o tamanho dos poros presentes, de forma que o mesmo espaço poroso total pode ser ocupado por diferentes volumes de ar e água (WALLER e WILSON, 1984).

Em condições de saturação hídrica, os macroporos estão preenchidos com ar, e o seu volume é caracterizado como espaço de aeração. Nas mesmas

condições, os poros menores estão preenchidos por água, em volume que corresponde à capacidade de retenção hídrica do substrato (KÄMPF, 2000).

Figura 17- Relação sólidos:ar:água dos substratos compostos comerciais: Substrato para horta (SH); Substrato para mudas florestais (SF); Substrato para mudas de Tabaco (ST); Substrato Plantimax (PM) e Substrato Rendimax (RM). Júlio de Castilhos, 2014

Quanto ao espaço de aeração, observou-se variação de 12 a 25% para os substratos monocomponentes e 7 a 34 % para os substratos compostos comerciais.

Para capacidade de retenção de água, encontrou-se valores na ordem de 28 a 68% para substratos monocomponentes e de 56 a 66% para os substratos compostos comerciais, evidenciando que um substrato composto apresenta características mais homogêneas. Foi constatado também, que os substratos que apresentam menor granulometria apresentam maior capacidade de retenção de água.

Porém, nem toda a água retida no substrato está disponível às plantas e a capacidade de retenção hídrica dos substratos foi avaliada como água disponível e água remanescente.

Quanto ao volume de água disponível, os substratos analisados obtiveram valores de água disponível (AD) abaixo do valor de referência ($0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) sugerido por De Boodtet al. (1974). Observaram-se valores muito próximos para os substratos compostos, de 22 a 31%, e valores com maior variação nos substratos mono componentes, de 7 a 30%, sendo que a TM apresentou o menor valor. Para água remanescente, ou seja, a umidade que permanece no substrato. Observou-se a variação de 21 a 38% para os substratos mono componentes e de 32 a 37% para os substratos compostos. Sendo que a TM apresentou o maior valor. Deve-se ter cuidado especial quanto ao uso de substrato a base de casca de coco fibrosa (CF), pois foi o que apresentou menor conteúdo de água disponível (7%).

Devido ao alto custo de implantação e a dificuldade de manutenção em telhados verdes, a escolha de um substrato que forneça as condições mais adequadas para o desenvolvimento das plantas é de suma importância. Esta escolha deve levar em consideração o conhecimento das características físicas e químicas do substrato. As características físicas dos substratos estudados estão demonstradas na tabela 3.

Quanto à aeração, observou-se que os substratos compostos PM e RM e os monocomponentes TP e CG apresentaram os menores valores de espaço de aeração, portanto deve-se atentar para evitar a utilização em locais onde ocorram chuvas muito frequentes, o que poderia gerar uma escassez de oxigênio ao sistema radicular. Os substratos monocomponentes TP, CG, CP e os compostos PMe RM, tem baixo EA (valores entre $0,07$ e $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), enquanto que TM, e SH têm valores intermediários de EA entre $0,23$ e $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e SF e ST, entre $0,33$ e $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerados altos conforme a referência internacional para o valor de espaço de aeração ($0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sugerido por De Boodtet al. (1974).

A escolha de um substrato com um determinado valor de espaço de aeração está relacionada à espécie vegetal a ser cultivada, estágio de desenvolvimento, irrigação e/ou regime de chuvas no local onde será aplicada a cobertura verde.

Conforme mostram os resultados da tabela 3, quanto à densidade seca (DS), a TP apresentou a densidade superior aos demais materiais (402 kg m^{-3}),

tendo seu uso mais indicado para misturas com materiais com densidade mais baixa e/ou em coberturas com maior capacidade estrutural.

Tabela 3 - Características Físicas dos substratos: CP, CG, CF, TP, TM e substratos compostos comerciais: SH, SF, ST, PM, RM. Júlio de Castilhos, 2013.

Material	Componentes	DS (Kg m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	VS (m ³ m ⁻³)	EA (m ³ m ⁻³)	AD (m ³ m ⁻³)	AR (m ³ m ⁻³)	CRA (m ³ m ⁻³)
CP	Casca de pinus	92,5 (E)	0,74 (B)	0,26 (B)	0,15 (C)	0,26 (B)	0,33 (C)	0,59 (B)
CG	Casca de coco gran.	113,28 (C)	0,84 (A)	0,16(C)	0,12 (C)	0,28 (A)	0,44 (A)	0,72 (A)
CF	Casca de coco fibr.	82,23 (E)	0,68 (C)	0,32 (A)	0,4 (A)	0,07 (D)	0,21 (D)	0,28 (D)
TP	Turfa preta	402 (A)	0,74 (B)	0,26 (B)	0,14 (C)	0,25 (B)	0,35(B)	0,6 (B)
TM	Turfa marrom	147 (D)	0,93 (A)	0,07 (D)	0,25 (B)	0,3 (A)	0,38 (A)	0,68 (A)
SH	Subst. horticultura	215 (C)	0,89 (A)	0,11 (D)	0,23 (B)	0,31 (A)	0,35 (B)	0,66 (B)
SF	Subst. mud florestais	209 (C)	0,89 (A)	0,11 (D)	0,33 (A)	0,22 (C)	0,34 (B)	0,56 (C)
ST	Substrato tabaco	216 (C)	0,89 (A)	0,11 (D)	0,34 (A)	0,23 (C)	0,32 (C)	0,56 (C)
PM	Substrato Plantimax	293,42 (B)	0,7 (B)	0,3 (A)	0,07 (C)	0,26 (B)	0,37 (A)	0,63 (B)
RM	Substrato Rendimax	274,93 (B)	0,7 (B)	0,3 (A)	0,1 (C)	0,25 (B)	0,35 (B)	0,6 (B)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<5%)

A maior parte dos substratos mono componentes, com exceção da TP, apresentam baixa densidade seca (DS), com valores entre 82,23Kg m⁻³ (CF) e 147 Kg m⁻³ (TM), sendo indicados conforme Kämpf (2000) para uso em bandejas para produção de mudas, sendo bons substratos para telhados verdes mais leves.

Os substratos compostos comerciais SH, SF e ST apresentaram um valor de densidade menor e isto é justificado devido ao uso da casca de Pinus e da vermiculita como componentes. Já as turfas apresentam densidades distintas de acordo com a sua origem. Segundo a classificação de Von Post citada por Bellé (1990), “turfas pretas” são aquelas fortemente decompostas, com alta densidade, maior conteúdo de colóides e menor porosidade, e “turfas brancas”, com cor variando entre branca e marrom, correspondem ao material menos humificado, com baixa densidade, maior conteúdo de fibras e maior porosidade.

Conforme os valores apresentados na tabela 3, a TP apresentou baixa porosidade total (0,74 m³ m⁻³), consequência da sua alta densidade. Já os substratos mono componentes TM e CG, e os compostos SH, SF e ST apresentam alta porosidade total (PT), com valores entre 0,84 e 0,93 m³ m⁻³. Sendo que estes valores encontram-se acima da referência (0,85 m³ m⁻³) para substratos, segundo De Boodt *et al.* (1974).

Quanto à capacidade de retenção de água dos substratos (CRA), todos os materiais apresentam altos valores de água retida em todas as tensões (Tabela 3). Com a exceção de CF que apresentou um valor baixo de CRA ($0,28\text{m}^3\text{ m}^{-3}$), provavelmente devido ao formato das partículas mais fibrosas.

Os valores mais elevados de retenção de água apresentados pelas turfas encontram respaldo na literatura, onde há referência de retenção de até 20 vezes a sua massa, segundo Andriesse (1988), sendo maior nas turfas fibrosas e menos decompostas (TM), do que naquelas mais humificadas (TP). Também as cascas, como as de Pinus e acácia, (HANDRECK; BLACK, 1999) e a vermiculita (BURÉS, 1997), têm alta capacidade de retenção de água.

Embora a retenção de água (CRA) seja uma característica positiva do ponto de vista do armazenamento, é necessário considerar que mais importante é a liberação de volumes de água suficientes às necessidades das plantas em cultivo (AD). Neste contexto, os volumes disponíveis apresentados foram considerados baixos (de $0,07$ a $0,31\text{m}^3\text{ m}^{-3}$). Desta forma, a utilização destes materiais e substratos em coberturas verdes exige um regime chuva mais freqüente.

4.3. Considerações finais

No telhado verde, é necessário considerar que tão importante quanto à capacidade de retenção de água, é a liberação de volumes de água suficientes às necessidades das plantas em cultivo. Neste sentido, os volumes de água disponíveis observados em todos os materiais analisados foram baixos. Desta forma, a utilização destes materiais e substratos em coberturas verdes exige um regime de fornecimento de água mais freqüente.

5 CONCLUSÕES

Dentre os substratos compostos comerciais estudados, o substrato para espécies hortícolas (SH) apresentou os maiores valores de capacidade de retenção de água e água disponível para as plantas, possibilitando um maior intervalo entre irrigações ou chuvas, características importantes para o uso em telhados verdes.

A turfa marrom (TM) foi o material que demonstrou o melhor conjunto de características dentre os materiais estudados, apresentando o menor valor de densidade seca, maior porosidade total, maiores valores de água facilmente disponível, água disponível e capacidade de retenção de água, e o mesmo valor de espaço de aeração daquele sugerido como referência. Sendo assim, um bom material para o uso em telhados verdes, formando compostos com outros materiais e buscando as melhores características e a sustentabilidade do sistema.

No entanto, tornam-se necessários mais estudos com a finalidade identificar mais materiais e substratos apropriados para o uso em telhados verdes, levando-se em conta as diferentes características de cada local, tipo de vegetação escolhida, capacidade de suporte da edificação, dentre outros fatores.

REFERÊNCIAS

ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils**. Roma: FAO, 1988. 165p. (FAO Soils Bulletin, 59).

ANSORENA, J.M. **Sustratos: propiedades y caracterizacion**. Espanha: Mundi-Prensa, 1994. 172p.

BELLÉ, S. **Uso da turfa “lagoa dos patos” (viamão/rs) como substrato hortícola**. 1990. 143 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

BURÉS, S. **Sustratos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1997. 341p.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University 1987.

CASTRO, A.; GOLDENFUM, J. **Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. Agosto de 2008. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/pt.asp?exibir=28>>. Acesso em: 08 jun. 2012.

CANTOR, S. L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W. W. Norton & Company, New York – London, 2008. 352p.

CATALISA - **Rede de Cooperação para Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://catalisa.org.br/site/>>. Acesso em: 02 jul. 2013.

CRUZ, W.; LEONI, A. **Coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba – barreiras e potencial de estabelecimento na visão dos profissionais da construção civil**. Outubro de 2008. Programa de Pós-Graduação em Const. Civil, UFPR, Curitiba. Disponível em: <<http://www.piniweb.com/datapini/bancomaterias/images/ENTAC2.pdf>>. Acesso em: 09 Jul. 2012.

De BOODT, M.; VERDONCK, O. **The physical properties of the substrates in horticulture**. Acta Horticulturae, Wageningen, n. 26, p.37-44, 1972.

De BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. **Method for measuring the water release curve of organic substrates**. Acta Horticulturae, Wageningen, n.37, p.2054-2062, 1974.

PHOTO GALLERY (2013). **Green Roofs for healthy Australian cities**. Disponível em: <<http://greenroofs.wordpress.com/contact-us/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

GOMES, A.D.N, BALBINO E., RIGUEIRA L.T., APARECIDO M. **Uma breve análise sobre eficiência do telhado verde como alternativa ecológica para as construções civis**. 2011. TCC Tecnologia em Gestão Ambiental – UGABC, Santo André, SP, 2011. Disponível em: <www.ecotelhado.com.br/.../Desenvolvimento%20telhado%20verde.p...> Acesso em: 21 jul. 2013.

GREENROOFS (2014). **Evapotranspiração**, Departamento de recursos Hídricos. Califórnia. Disponível em: <http://www.greenroofs.com/content/energy_editor003.htm>. Acesso em: 20 mar. 2014.

Tecnologia em Gestão Ambiental – UGABC, Santo André, SP, 2011. Disponível em: <www.ecotelhado.com.br/.../Desenvolvimento%20telhado%20verde.p...> Acesso em: 21 Jul. 2012.

HANDRECK, K. A.; BLACK, N. D. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney: Unsway Press, 1999. 448p.

KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Genesis, 2000. 312p.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery**. John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2008.

KNOPIK, F. **telhados verdes**. Disponível em: <<http://www.arquidicas.com.br/telhados-verdes>> Acesso em: 18 jun. 2014.

MARY, Wellington *et al.* **Telhados Verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social**. Em: 9º Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil – ENEPEA. Curitiba, 2008.

MINKE, G. **Tectos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos** Editorial Fin de Siglo, Montevideo, Uruguay, 2004.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. Gestão e Tecnologia de Projetos**. Vol.4, nº1, maio de 2009.

NIEVA, A. B. G.; POZO, A. V. del. **Guía de construcción sostenible**. Espana: Instituto Sindical do Trabajo, Paralelo Edición, noviembre, 2005.

NRCA - National Roofing Contractors Association (EUA) - **NRCA Green Roof Systems Manual**. 2007. Disponível em: <http://www.nrca.net/>. Acesso em: 05 jun. 2013.

PECK, S.W.; CALLAGHAN C.; KUHN M.E.; BASS B. **Greenbacks from green Roofs: Forging a new industry in Canada**. March 1999. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada. Disponível em: <<http://www.greenroofs.org/pdf/Greenbacks.pdf>>. Acesso em 13 ago. 2012.

RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Pflanzenernährung im gartenbau**. Stuttgart: Ulmer, 1985. 352p.

ROLA, Sylvia Meimaridou. **A Natação como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natação em filtrar a água de chuva.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências de Planejamento Energético)- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis.php> Acesso em: 15 abr. 2012.

ROWEL, D. L. **Soil science: methods & applications.** New York: Longman Group, 1994. 350p.

RODRIGUEZ, R. The History of Green Roof Technology. 2006. Disponível em: <www.ifenergy.com/50226711/the_history_of_green_roff_tecnology.php> Acesso em: 15 jun. 2012

SOUZA, A. **Tipos de poluição. A relação homem ambiente e a degradação da natureza.** Novembro de 2008. Disponível em: <http://www.grupoescolar.com/materia/tipos_de_poluicao.html>. Acesso em: 15 jun. 2012.

SILVA, Neusiane da Costa. Telhado Verde: **Sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental.** 2011. TCC Especialização Construção Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/73.pdf> . Acesso em: 25 ago. 2012.

SCHUNCK, E.; OSTER, H. J.; BARTHEL, R.; KIESSL, K. **Roof Construction Manual. Pitched Roofs.** Birkhäuser Edition Detail, 2003.

SNODGRASS, E. C.; McINTYRE, L. **The Green Roof Manual. A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance.** Timber Press, Inc., 2010.

WALLER, P.L.; WILSON, F. N. **Evaluation of growing media for consumer use.** Acta Horticulturae, n.150, p.51-58, 1984.

WHITE, L. **Arquitetura Sustentável.** Publicado em 06.mar.2008. Disponível em:<<http://pt.shvoong.com/writers/louiswhite>>. Acesso em: 05 jun. 2013.