



Thiago de Souza Louzada

**EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS NA CONSTRUÇÃO DE
TELHADOS VERDES: ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO
DE ÁGUA**

**Natal
2016**

Thiago de Souza Louzada

**EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS NA CONSTRUÇÃO DE
TELHADOS VERDES: ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO
DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Ada Cristina Scudelari

Natal

2016

Catálogo da Publicação na Fonte
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Sistema de Bibliotecas
Biblioteca Central Zila Mamede / Setor de Informação e Referência

Louzada, Thiago de Souza.

Emprego de geossintéticos na construção de telhados verdes: análise da capacidade de retenção de água / Thiago de Souza Louzada. - Natal, RN, 2016.

94 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ada Cristina Scudelari.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Telhado verde - Dissertação. 2. Drenagem urbana - Dissertação. 3. Geossintéticos - Dissertação. 4. Arquitetura - Sustentabilidade - Dissertação. I. França, Fagner Alexandre Nunes de. II. Scudelari, Ada Cristina. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 69.034.92

THIAGO DE SOUZA LOUZADA

**EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS NA CONSTRUÇÃO DE
TELHADOS VERDES: ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO
DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França – Orientador

Prof^a. Dr^a. Ada Cristina Scudelari – Co-orientadora

Prof^a. Dr^a. Gregório Luís Silva Araújo (UNB) – Examinador Externo

Prof^a. Dr^a. Helio Rodrigues Dos Santos (UFRN) – Examinador Interno

Natal, 18 de março de 2016.

EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS NA CONSTRUÇÃO DE TELHADOS VERDES: ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Thiago de Souza Louzada

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Ada Cristina Scudelari

RESUMO

Considerando a situação ambiental atual das grandes cidades, bem como a impermeabilização do solo, o que acaba por diminuir a capacidade de infiltração da água, este trabalho apresenta o telhado verde como alternativa viável e compensatória no controle do escoamento superficial urbano. Os telhados vivos, coberturas vegetadas ou ecotelhados como também são chamados, além de contribuir no controle do escoamento superficial urbano, proporcionam vantagens, como a diminuição de ilhas de calor em centros urbanos, bom isolamento térmico em climas frios e quentes, melhora da qualidade do ar e outros. As coberturas verdes são relativamente populares na Europa, especialmente na Alemanha, país onde há uma ampla e crescente utilização do sistema. Os geossintéticos mostram-se importantes para o avanço da técnica, podem ser utilizados com diferentes funções, como na impermeabilização da base, na proteção contra raízes, como filtro, na drenagem, no armazenamento de água e na estabilidade do substrato. Como objetivo desta pesquisa, buscou-se a partir de modelos físicos experimentais e um simulador de chuvas, observar a capacidade de retenção de água de diferentes configurações de telhados verdes, onde a variação

se deu no material geossintético utilizado como camada drenante e na inclinação dos módulos. Aspectos construtivos e de funcionamento dos módulos também foram observados. Como resultados, comprovou-se que os telhados verdes mesmo que com 4 cm de altura de substrato, conseguem reter considerável quantidade de água, que somado ao atraso no início do escoamento, os torna uma medida compensatória nos sistemas de drenagem urbana. A capacidade de retenção, do módulo que teve uma geomanta como camada drenante ficou entre 47% quando inclinado e 65% quando plano. Essa retenção foi obtida para intensidades de precipitação de 44 mm/h e 42 mm/h respectivamente e 20 minutos de simulação. Para este mesmo módulo, o atraso no início de escoamento foi de 9 minutos quando inclinado e 15 minutos quando plano, comprovando que a inclinação da cobertura verde influencia na capacidade de retenção e no tempo de início de escoamento. O módulo em que apenas um geotêxtil separava o substrato da camada de impermeabilização apresentou uma excelente capacidade de retenção de água, mas a capacidade de drenagem foi insuficiente, ou seja, a intensidade de precipitação foi superior a vazão apresentada pelo sistema, levando-o a transbordar. No módulo com a geomanta como camada drenante o sistema funcionou perfeitamente, não apresentando transbordamento em nenhuma ocasião. Quanto à utilização dos geossintéticos, eles possibilitaram a montagem dos módulos sem maiores problemas, de forma simples e rápida, bastando apenas algumas horas para fixar os materiais e plantar a vegetação.

Palavras-chave: Telhados verdes; Sistemas de drenagem urbana; Sustentabilidade; Geossintéticos.

EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS NA CONSTRUÇÃO DE TELHADOS VERDES: ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Thiago de Souza Louzada

Orientador: Prof. Dr. Fagner Alexandre Nunes de França

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Ada Cristina Scudelari

ABSTRACT

Considering the current environmental situation in large cities, as well as the soil sealing, which is responsible for reducing the soil infiltration capacity, this study presents the green roofing technique as a feasible and compensatory alternative in controlling urban runoff. Besides, the green roofs, also known as living roofs, vegetated roofs or ecoroofs, provide advantages such as reduction of heat islands in urban centers, good thermal insulation in hot and cold climates, improve the air quality and others. Green roofs are relatively popular in Europe, especially in Germany, where there is a wide and growing use of the system. Geosynthetic materials may play an important role in technical improvements, since they can be used with different functions such as waterproofing the base, protection against roots, filter, drain, water storage and stability of the substrate. The main objective of this research was to register the water retention capacity of different configurations of green roofs through small scale green roof modules and a rain simulator. Different geosynthetic materials were used as drainage layer. In addition, plane and inclined conditions were tested. Construction and operational aspects of the modules were also observed. As a result, it was confirmed that green roofs, even with substrate

height of 4 cm, can retain considerable amount of water, which added to the delay in the beginning of the flow. They can be used as a compensatory measure in urban drainage systems. The retention rate from the module that there was geomat as drainage layer was between 47% (inclined) and 65% (plane). Such water retention rate was obtained for precipitation intensities equal to 44 mm/h and 42 mm/h, respectively, subjected to 20-minute long rain simulation. This module presented a delay in the flow beginning equal to 9 minutes (inclined) and 15 minutes (plane). Thus, the slope of the green roof has shown a great influence in both the retention rate and the time necessary to start the flow of rainwater. The module in which only a geotextile nonwoven separates the substrate from the waterproofing layer presented excellent water retention capacity, yet a lower drainage capability. It means that the intensity of precipitation was higher than the flow rate supported by the system, causing overflowing. In the module with geomat as drainage layer, the system worked perfectly, showing no overflow at any occasion. Regarding the use of geosynthetics, it was possible to mount the modules without any problems, in a simple and quickly manner, requiring only a few hours to assemble the materials and vegetation.

Keywords: Green roofs; Urban drainage systems; Sustainability; Geosynthetic materials.

Dedico esse trabalho a minha avó Noeli, e a minha amiga Tayga.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial ao meu Pai Waldemar Louzada, a minha mãe Vera Lúcia Louzada que mesmo de longe sempre me apoiaram e a minha namorada Caterine Bueno que esteve presente durante toda essa empreitada.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Aos professores Fagner França, Ada Scudelari, Carina Costa e Yuri Costa pelas excelentes aulas.

Aos meus orientadores, por sanarem dúvidas e mostrarem o rumo a ser seguido na pesquisa.

Aos colegas, amigos e laboratoristas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro a esse projeto de pesquisa.

As empresas TDM Brasil, Gruppo Industriale Maccaferri e Ober Geossintéticos que forneceram amostras de materiais geossintéticos utilizados na pesquisa.

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	xi
Lista de tabelas	xiv
Lista de equações	xv
Lista de siglas e abreviaturas.....	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativas.....	4
1.1.1 Quanto à capacidade de retenção de água dos telhados verdes.....	4
1.1.2 Quanto à importância dos geossintéticos no desenvolvimento dos telhados verdes	6
1.2 Objetivos.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1 Telhados Verdes.....	7
2.1.1 Aplicações e classificação	12
2.1.2 Composição.....	13
2.1.3 Sistemas construtivos.....	18
2.1.4 Benefícios.....	20
2.1.5 Capacidade de retenção de água dos telhados verdes.....	21
2.1.6 Limitações quanto à utilização de coberturas verdes	26
2.2 Conceitos Básicos de Hidrologia	27
2.2.1 Precipitação	27
2.2.1.1 Medida das precipitações	28
2.2.1.2 Aquisição de dados de precipitações	28
2.2.2 Escoamento superficial	30
2.3 Aplicações dos Geossintéticos em Telhados Verdes	31
2.3.1 Aplicações em impermeabilização	32
2.3.2 Aplicações como filtro	34
2.3.3 Aplicações em drenagem	35
2.3.4 Aplicações na estabilização do substrato	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Localização da Pesquisa	40
3.2 Descrição dos Módulos.....	41
3.2.1 Módulo de Controle (MC)	42
3.2.2 Módulo Vegetado Geotêxtil (MVGT).....	43
3.2.3 Módulo Vegetado Geomanta (MVGA).....	44
3.2.4 Módulo Geotêxtil + Geomanta (MGG)	46
3.3 Características dos Elementos Constituintes dos Módulos	46
3.3.1 Geomembrana EPDM	47
3.3.2 Geotêxtil não-tecido.....	48
3.3.3 Geocomposto drenante	48

3.3.4 Substrato	49
3.3.4.1 Análise granulométrica	49
3.3.4.2 Limites de consistência	50
3.3.4.3 Massa específica dos sólidos	50
3.3.4.4 Permeabilidade	50
3.3.5 Vegetação	51
3.4 Simulador de Chuvas	51
3.4.1 Desenvolvimento do simulador	52
3.4.2 Calibração do simulador de chuvas	55
3.5 Preparo do Local para Realização das Simulações	56
3.6 Parâmetros Analizados	57
3.6.1 Medições da precipitação	58
3.6.2 Capacidade de retenção de água	58
4 RESULTADOS	61
4.1 Capacidade de Retenção de Água	61
4.1.1 Simulações de 20 minutos	62
4.1.2 Simulações de 30 minutos	65
4.2 Desempenho do Sistema de Drenagem	69
4.3 Desempenho Quanto a Adaptação da Vegetação	71
5 CONCLUSÕES	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	75
Referências	77
Apêndice A	82
Apêndice B	85
Apêndice C	88
Apêndice D	91
Apêndice E	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Nova sede do Facebook na Califórnia	2
Figura 1.2 Vista aérea do projeto que pode vir a ser o maior telhado verde do mundo	3
Figura 1.3 Telhado verde sobre ônibus na Espanha.....	3
Figura 1.4 Influência da impermeabilização no hidrograma de uma bacia.....	5
Figura 1.5 Rio Cheonggycheon, na cidade de Seul, antes e após a obra de revitalização	6
Figura 2.1 Ilustração de como seriam os Jardins Suspensos da Babilônia.....	7
Figura 2.2 Casas na Escandinávia.....	8
Figura 2.3 Reconstituição de um vilarejo colonizado por Vikings.....	9
Figura 2.4 Igreja construída com cobertura verde em 1884 na Islândia.....	9
Figura 2.5 Telhado Verde do Ministério de Educação e Saúde	10
Figura 2.6 Área residencial em Düsseldorf-Unterbach - Alemanha.....	11
Figura 2.7 Sistemas de drenagem em telhados verdes	15
Figura 2.8 Camada de impermeabilização sendo atravessada por uma raiz	17
Figura 2.9 Telhado verde artesanal.....	18
Figura 2.10 Componentes do sistema alveolar	19
Figura 2.11 Componentes do sistema laminar	19
Figura 2.12 Comparação do escoamento de água de um telhado verde e um telhado comum. Pesquisa feita em Leuven (Bélgica) num período de 24 horas	22
Figura 2.13 Comparação do escoamento da água da chuva em um telhado verde e um telhado convencional.....	23
Figura 2.14 Capacidade de retenção observada para o telhado de Goldsboro entre abril de 2003 e junho de 2004. (Em janeiro de 2004 não houve registro de chuva). 25	
Figura 2.15 Ciclo hidrológico.....	27
Figura 2.16 Pluviômetros.....	29

Figura 2.17 Exemplo de um Pluviógrafo e um Pluviograma.....	30
Figura 2.18 (A) Geotêxtil tecido; (B) geotêxtil não - tecidos..	35
Figura 2.19 Geomanta.....	36
Figura 2.20 (A) Geocomposto drenante utilizado em Goldsboro; (B) Geoespaçador utilizado em Kinston...	37
Figura 2.21 Seção de um telhado verde com geocomposto drenante..	38
Figura 2.22 Grampos antiderrapantes aplicados sobre tela, antes da aplicação do substrato.....	39
Figura 3.1 Localização de Natal.	40
Figura 3.2 Detalhe para possibilidade do módulo de simular coberturas íngremes e planas.....	41
Figura 3.3 Instalação da geomembrana e válvula drenagem.....	42
Figura 3.4 Módulo de Controle durante simulação	43
Figura 3.5 Composição do Módulo Vegetado Geotêxtil (MVGT).....	43
Figura 3.6 Sequência construtiva do Módulo Vegetado Geotêxtil: a) fixação do geotêxtil sobre a geomembrana; b) detalhe para a barreira drenante situada na parte inferior da caída do telhado; c) colocação do adubo orgânico; d) plantação da vegetação.....	44
Figura 3.7 Composição do Módulo Vegetado Geomanta (MVGA).....	45
Figura 3.8 Etapas da construção do Módulo Vegetado Geomanta (MVGA): A) instalação do geocomposto drenante sobre a geomembrana. B) Instalação do geotêxtil sobre o geocomposto drenante	45
Figura 3.9 Detalhe da faixa drenante em brita utilizado no MGA, e da fixação do geotêxtil com ripas de madeira.....	45
Figura 3.10 A) Amostra da geomembrana utilizada; B) Amostra do geotêxtil não-tecido utilizado nos módulos	47
Figura 3.11 Geocomposto drenante utilizado na pesquisa, formado por um geotêxtil e uma geomanta	48
Figura 3.12 Curva granulométrica do solo utilizado nos módulos vegetados	49
Figura 3.13 Microaspersor utilizado na pesquisa	52
Figura 3.14 Configuração inicial do simulador de chuvas	53

Figura 3.15 Esquema da configuração final do simulador de chuvas	53
Figura 3.16 Esquema da distribuição dos microaspersores	54
Figura 3.17 Teste de uniformidade do simulador de chuvas: (A) detalhe para o ambiente fechado (sem influência de vento); (B) posicionamento dos pluviômetros.	54
Figura 3.18 Local de instalação dos módulos: (A) antes da construção do tapume contra o vento; (B) após a construção do tapume contra o vento	57
Figura 3.19 Local de instalação dos microaspersores.....	57
Figura 3.20 Distribuição dos pluviômetros no momento da simulação.....	58
Figura 3.21 Sistema de captação e medição do volume escoado.....	59
Figura 3.22 Cabine de leituras do volume escoado em cada instante (volume x tempo)	59
Figura 4.1 Porcentagem de Retenção de água para simulações de 20 minutos para módulos planos e inclinados	63
Figura 4.2 Hidrograma para simulações de 20 minutos em módulos planos	64
Figura 4.3 Hidrograma para simulações de 20 minutos em módulos inclinados.....	64
Figura 4.4 Porcentagem de retenção para simulações de 30 minutos com módulos planos e inclinados.....	66
Figura 4.5 Hidrograma para simulações de 30 minutos em módulos planos	67
Figura 4.6 Hidrograma para simulações de 30 minutos em módulos inclinados.....	68
Figura 4.7 Acúmulo de água na parte interna do MVGT	69
Figura 4.8 Vista externa do transbordamento do MVGT	70
Figura 4.9 Faixa drenante em areia grossa envolta por um geotêxtil no MVGT.....	70
Figura 4.10 Faixa drenante do MVGA.....	71
Figura 4.11 Estresse hídrico no MVGT	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Características dos telhados verdes intensivos e extensivos.....	13
Tabela 2.2 Balanço de entrada e saída de água para intensidade de precipitação de 42 mm/h	24
Tabela 2.3 Balanço de entrada e saída de água para intensidade de precipitação de 79 mm/h	24
Tabela 2.4 Principais aplicações e geossintéticos utilizados.....	31
Tabela 2.5 Vantagens e desvantagens dos principais tipos de geomembranas.....	33
Tabela 3.1 Peso dos elementos utilizados nos módulos MVGT e MVGA	46
Tabela 3.2 Características físicas do geocomposto drenante	49
Tabela 3.3 Relação dos materiais utilizados na construção do simulador de chuvas	55
Tabela 3.4 Calibração simulador de chuvas - teste representativo 1	56
Tabela 3.5 Calibração simulador de chuvas - teste representativo 2	56
Tabela 3.6 Simulações realizadas.....	60
Tabela 4.1 Valores de precipitação e escoamento para 20 minutos de simulação em módulos planos e inclinados	62
Tabela 4.2 Valores de precipitação e escoamento para 30 minutos de precipitação em módulos planos e inclinados.	65
Tabela 4.3 Minuto de início do escoamento para simulações de 30 minutos	67
Tabela 4.4 Coeficientes Runoff de MVGA.....	68
Tabela 4.5 Coeficiente Runoff de alguns tipos coberturas	69

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1	29
Equação 4.1	61
Equação 4.2	61
Equação 4.3	61
Equação 4.4	61
Equação 4.5	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- °C – Graus Celsius
- cm – Centímetro
- cm/s – Centímetros por segundo
- cm² - Centímetro quadrado
- CV – Cavalo vapor (potência)
- EPDM - Etileno Propileno Dieno Monômero
- EUA – Estados Unidos da América
- g/cm³ - Grama por centímetro cúbico
- GA – Geomantas
- GCD – Geocompostos
- GCL – Geosynthetic clay liner (Composto argiloso para barreiras)
- GG – Geogrelhas
- GL - Geocélulas
- GM - Geomembrana
- GN – Georredes
- GSP – Geoespaçadores
- GTw – Geotêxtil tecido
- GTnw – Geotêxtil não tecido
- IGRA - International Green Roof Association
- k – Coeficiente de permeabilidade
- kg/m² - Quilograma por metro quadrado
- km - Quilômetro

KN/m³ - Kilonewton por metro cúbico

L - Litro

m – Metro

m² - metro quadrado

mca – Metros de coluna d'água

mm - Milímetro

mm/h – Milímetro por hora

mm/m² - Milímetro por metro quadrado

MC – Módulo Controle

MGG – Módulo Geotêxtil + Geomanta

MVGA – Módulo Vegetado Geomanta

MVGT – Módulo Vegetado Geotêxtil

PEAD - Polietileno de alta densidade

PVC - policloreto de vinila

UV – Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos naturais, indispensáveis para sobrevivência da humanidade, vem sendo centro de discussões das contradições do mundo moderno. Um dos grandes desafios da nossa sociedade é conciliar o desenvolvimento econômico, social e ambiental através da sustentabilidade. Neste trabalho os telhados verdes são apresentados como uma maneira sustentável e eficiente de auxiliar na drenagem pluvial urbana, que devido ao aumento da população que continua em um ritmo acelerado, vem gerando concentrações de população que crescem com desequilíbrio social, econômico e ambiental. Rocha e Studart (2014) afirmam que a partir do início do crescimento industrial do estado do Rio Grande do Norte, no final do século XX, verifica-se o aumento do crescimento demográfico da cidade de Natal, que como a maioria das grandes cidades brasileiras, enfrenta problemas relacionados com sua drenagem pluvial, que vão de comuns alagamentos até deslizamentos de encostas, com sérios danos aos seus moradores.

Sinteticamente, entende-se por telhados verdes, as coberturas que tenham intencionalmente e de forma planejada sobre seu revestimento superior, uma camada viva de espécies vegetais. A utilização de substrato e vegetação na cobertura de uma edificação é uma técnica muito antiga e alguns autores fazem menção aos Jardins Suspensos da Babilônia, que seriam imensos jardins com finalidade além de estética de ser uma fonte de alimentos. Para Minke (2004) os telhados verdes são conhecidos há séculos, tanto nos climas frios da Escandinávia, como em climas quentes na Tanzânia. Em climas frios, podem ser considerados quentes uma vez que eles armazenam o calor interno da edificação e em climas quentes podem ser considerados frios, por manter o interior da edificação com temperaturas mais amenas. Os telhados verdes vêm sendo utilizados, porém com conotações diferentes. Suas motivações foram vernaculares, de lazer, estéticas e por fim sustentáveis. Por este último motivo é que hoje se procura implantar maiores quantidades de telhados verdes nas cidades, utilizando-os como um potencial redutor da vazão de água pluvial escoada e mecanismo de eficiência energética no conforto térmico e acústico.

A Alemanha deu início a uma nova era para os telhados verdes. Com estudos científicos e incentivos do governo a técnica ganhou expressão e hoje é muito utilizada não só neste país, como em outros diversos países, como por exemplo, Itália, Suíça, Índia, China e EUA. Recentemente no estado americano da Califórnia uma obra já concluída e outra ainda em fase de projeto chamam a atenção. A primeira é em Menlo Park, uma edificação com aproximadamente 90 mil m² de cobertura verde foi construída para abrigar a nova sede do Facebook. Com mais de 400 árvores, trilhas para caminhada e espaços ao ar livre para sentar e trabalhar, a área verde funciona como isolamento térmico do edifício, barateando os custos de resfriamento e aquecimento do prédio (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Nova sede do Facebook na Califórnia.
Fonte: Revista Time (2015)

O projeto é para a cidade de Cupertino, chamado The Hills at Vallco e pode vir a ser o maior telhado verde do mundo. Ele inclui a construção de um bairro planejado com edifícios em diferentes níveis, que irão abrigar um centro comercial e unidades residenciais. A vista aérea do projeto é apresentada na Figura 1.2.



Figura 1.2 - Vista aérea do projeto que pode vir a ser o maior telhado verde do mundo.

Fonte: Sand Hill Property Company (2015)

Como fato curioso, na Espanha, em uma cidade próxima a Barcelona, um ônibus recebeu um telhado verde em sua cobertura. O projeto usa a água resultante do sistema de ar condicionado do veículo para irrigar o telhado. Estima-se que a temperatura no interior do ônibus diminuiu cerca de 3,5°C. Na Figura 1.3 pode-se ver o ônibus andando pelas ruas.



Figura 1.3 - Telhado verde sobre ônibus na Espanha.
Fonte: Urban Gardens (2013)

1.1 JUSTIFICATIVAS

As justificativas para realização deste trabalho são apresentadas separadamente. Primeiro apresenta-se a capacidade de retenção de água, benefício dos telhados verdes que vem sendo bastante estudado e que é um fator importante na disseminação da técnica através de leis e incentivos. Por fim, trata-se da importância dos materiais geossintéticos no desenvolvimento dos telhados verdes.

1.1.1 Quanto à capacidade de retenção de água dos telhados verdes

Algumas metrópoles estão passando por graves problemas relacionados ao crescimento desordenado e inadequado. A ocupação urbana por meio de telhados, pavimentação de ruas, passeios e estacionamentos gera uma modificação intensa no local, provendo a impermeabilização de uma área que anteriormente desempenhava um papel importante dentro de ciclo hidrológico. Com a perda da capacidade de infiltração e evapotranspiração, o volume de água escoada pela superfície aumenta sobrecarregando o sistema de drenagem. Botelho (2011) afirma que loteamento e a urbanização de uma área significam retirar considerável parte de sua vegetação, abrir ruas, fazendo cortes e aterros, edificar lotes, pavimentar ruas e colocar gente na área. Cria-se, pois uma nova situação diferente da situação de equilíbrio anterior. Já as águas de chuva continuarão a cair na área e escoar por ela. Se não forem tomados cuidados, na área urbanizada poderá ocorrer uma série de fenômenos, como erosões, alagamentos e diminuição da recarga de aquíferos, que serão agravados pela impermeabilização da área. Tucci (2003) também menciona a ligação da urbanização, com a impermeabilização do solo, que causa a diminuição da infiltração da água no solo e da evapotranspiração. Quando da ocorrência de chuvas, essa contribuição se transforma em escoamento superficial tendo como consequência o aumento dos volumes escoados, das vazões de pico, e a redução do tempo de concentração da bacia que eleva os picos de hidrogramas de cheias, como mostra a Figura 1.4.

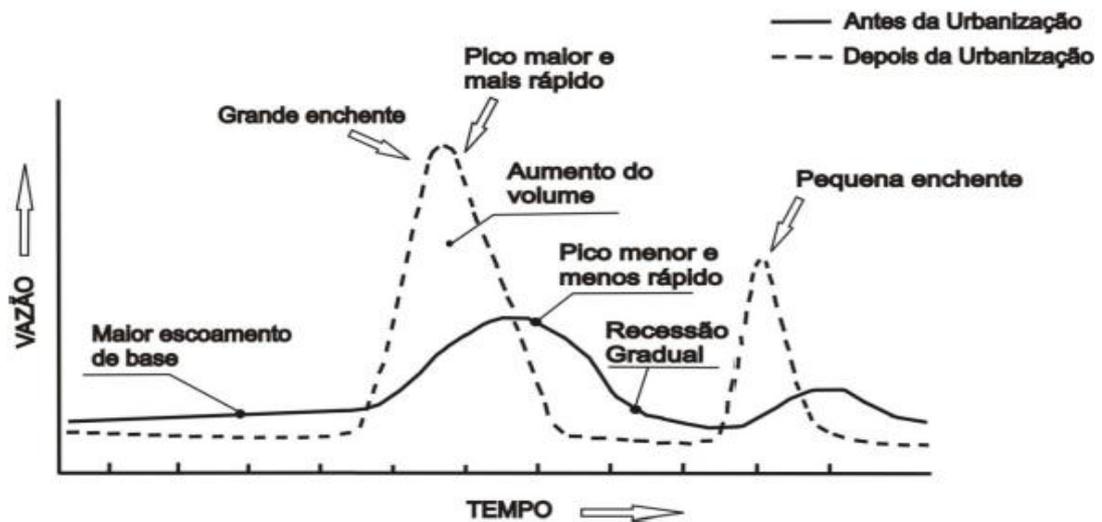


Figura 1.4 - Influência da impermeabilização no hidrograma de uma bacia.
Fonte: Tucci (2003)

De acordo com Tucci (2007), como solução para os problemas relacionados à drenagem pluvial adota-se medidas de controle estruturais e medidas de controle não-estruturais. As medidas de controle estruturais caracterizam-se por obras de engenharia que podem vir a alterar características dos rios. Por sua vez as medidas não-estruturais caracterizam-se por ações preventivas, que atuam sempre em conjunto com as medidas estruturais. As obras de drenagem, em sua maioria, objetivam drenar a água o mais rápido possível, como por exemplo, com retificação e canalização de córregos e rios, obras essas, que são custosas para o poder público e alteram consideravelmente as características naturais do ambiente.

As medidas de controle estruturais chamadas de compensatórias, atuam de forma auxiliar ao sistema de drenagem pluvial, e tem como objetivo principal promover a infiltração e o armazenamento das águas de chuva. Cabe alertar que tais medidas sozinhas não são a solução para problemas de drenagem pluvial, mas sim, são ações importantes, que podem reduzir custos com grandes obras e ainda promover outros benefícios, como redução de ilhas de calor, recarga de aquíferos, melhor qualidade do ar, etc. Entre essas medidas cita-se: trincheiras drenantes; poços de infiltração; reservatórios de captação; e telhados verdes.

Portanto, telhados verdes são medidas compensatórias, que permitem o armazenamento das águas de chuva promovendo o aumento do tempo de concentração e conseqüentemente diminuindo os picos de vazão dos hidrogramas.

1.1.2 Quanto à importância dos geossintéticos no desenvolvimento dos telhados verdes

A utilização de materiais geossintéticos, desenvolvidos geralmente com foco em obras geotécnicas, é um fator importante na evolução da técnica dos telhados verdes. Os telhados verdes possuem um potencial muito grande de utilização de materiais geossintéticos, podendo um único telhado conter diferentes materiais com variadas funções, como: impermeabilização; proteção; drenagem; reserva d'água; filtro; e estabilização do substrato.

A utilização desses materiais em troca dos materiais naturais acarreta vários benefícios, entre eles, a facilidade de manuseio do material, maior controle de qualidade assegurando características físicas e funcionais, possibilidade de uma obra mais limpa e rápida assim como uma considerável diminuição da sobrecarga na estrutura.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é avaliar o comportamento de telhados verdes como potencial redutor do escoamento superficial urbano, utilizando-se de materiais geossintéticos para sua construção.

De modo específico busca-se:

- ✓ Avaliar o desempenho desta técnica no que se refere ao tempo de retenção e a capacidade de armazenamento de água pela cobertura.
- ✓ Analisar o comportamento dos materiais geossintéticos quanto á aspectos construtivos e funcionais, como o desenvolvimento da vegetação e carreamento de partículas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os temas: telhados verdes, conceitos básicos de hidrologia e aplicações dos geossintéticos em telhados verdes. Sobre os telhados verdes apresenta-se um breve histórico mostrando a evolução do método, as principais aplicações e classificações, a composição, os principais sistemas construtivos, os benefícios, estudos sobre a capacidade de retenção de água e algumas limitações quanto à utilização desta prática construtiva.

2.1 TELHADOS VERDES

Os primeiros relatos sobre a utilização de telhados verdes remetem aos Jardins Suspensos da Babilônia. Acredita-se que eles tenham sido construídos no século VI a.C. na Babilônia, uma cidade-estado da antiga Mesopotâmia (atual Iraque). Tido como uma das sete maravilhas do mundo antigo, os Jardins Suspensos da Babilônia supostamente eram compostos de árvores frutíferas, chás e flores (Krebs, 2005). Alguns historiadores afirmam que os jardins teriam sido idealizados por Nabucodonosor II para agradar a sua esposa preferida, saudososa da natureza de sua terra. A Figura 2.1 apresenta uma ilustração de como supostamente seriam visto os Jardins Suspensos da Babilônia.



Figura 2.1 - Ilustração de como seriam os Jardins Suspensos da Babilônia.
Fonte: Revista Galileu (2013)

De acordo com Minke (2004), na Escandinávia estão alguns dos telhados verdes mais antigos, sendo um dos locais onde se originou tal tipo de cobertura. Desde a Idade Média, os telhados verdes já eram utilizados e permaneceram unânimes naquela região até final do século XVIII. Os povos da Escandinávia faziam utilização da arquitetura vernacular, ou seja, as construções utilizam matéria prima disponível no entorno da edificação. Além de serem construídos com matéria prima local, os telhados verdes se mostravam e se mostram muito eficientes quanto ao isolamento térmico, deixando mais quente o interior da edificação no clima frio e tornando a edificação robusta para aguentar ventos fortes. As Figuras 2.2 (a) e (b) mostram exemplos de casas com telhados verdes na Escandinávia. Usados também em regiões de clima quente, evidências de residências com telhados verdes são encontradas na Tanzânia, contribuindo para deixar a temperatura na parte interna das edificações mais amenas. Percebe-se, portanto, a presença de telhados verdes em climas frios, onde a cobertura ajuda a manter o interior aquecido, e em climas quentes, mantendo o interior da edificação isolado das altas temperaturas externas.



Figura 2.2 - Casas na Escandinávia.
Fonte: (a) Minke (2004) e (b) Obviousmag (2009)

Os povos Vikings foram importantes disseminadores da utilização dos telhados verdes. Numa grande atuação como guerreiros e exploradores nórdicos, utilizavam cobertura verde em suas construções e foram responsáveis por disseminar a técnica nos locais por eles colonizados. Na vila de L'Anse aux Meadows, no extremo norte da Ilha de Terra Nova, no Canadá, um vilarejo que é um sítio arqueológico foi declarado como patrimônio mundial pela Unesco em 1978. O

local reconstruído é um exemplo de como as cidades do povo nórdico eram formadas e o telhado vegetado é uma característica marcante (Figura 2.3). Outro exemplo da utilização de telhados verdes na região da Escandinávia é uma igreja construída em 1884 em Hof, uma pequena cidade da Islândia, cuja grama na cobertura proporciona bom isolamento, é um habitat para a vida selvagem e mantém a característica natural local (Amusing Planet, 2014).



Figura 2.3 - Reconstituição de um vilarejo colonizado por Vikings.
Fonte: Hypeless (2015)



Figura 2.4 - Igreja construída com cobertura verde em 1884 na Islândia.
Fonte: Amusing Planet (2014)

Na década de 1920, com a recém surgida arquitetura moderna, o arquiteto Le Corbusier introduziu o conceito de Terraço Jardim como um ponto para modernização da arquitetura. A ideia era transformar as coberturas em terraços habitáveis usados para lazer e convivência trazendo de volta o espaço que as construções estavam consumindo (Ferraz, 2012). Dentre as obras inspiradas por esse novo conceito de arquitetura, cita-se o Ministério de Educação e Saúde do Rio de Janeiro, construído entre 1937 e 1943 na cidade do Rio de Janeiro e considerado um marco no estabelecimento da Arquitetura Moderna Brasileira (Figura 2.5). Essa obra foi projetada por Lúcio Costa, com projeto paisagístico de Roberto Burle Marx. Contou ainda com auxílio do então estagiário Oscar Niemayer e com consultoria de Le Corbusier (Krebs, 2005).



Figura 2.5 - Telhado Verde do Ministério de Educação e Saúde.
Fonte: Krebs (2005)

Na década de 1960, na Europa, mais especificamente na Alemanha, passou-se a investir em pesquisas científicas voltadas aos benefícios e ao desenvolvimento da técnica construtiva dos telhados verdes. Aliado aos estudos científicos, a Alemanha aprovou uma série de políticas públicas para implantação desta prática sustentável, que fizeram com que a utilização de telhados verdes ganhasse expressão. Segundo estimativa da International Green Roof Association (2015), em 2001, a Alemanha possuía cerca de 13,5 milhões de metros quadrados cobertos por

coberturas verdes, ou seja, 14% de todos os telhados do país. A Figura 2.6 mostra uma área residencial com telhado verde na Alemanha.



Figura 2.6 - Área residencial em Düsseldorf-Unterbach - Alemanha.
Fonte: Minke (2004)

Souza e Stahlhofer (2013) afirmam que no Brasil a técnica ainda não é muito difundida, mas que aos poucos vem ganhando espaço principalmente na região sul e sudeste. O surgimento da empresa Ecotelhado, uma das pioneiras especializada em telhados verdes, contribuiu para a implantação de telhados verdes no Brasil e segundo dados da própria empresa, até o ano de 2015 mais de 500.000 m² (quinhentos mil metros quadrados) de cobertura verde foram instaladas.

Ohnuma *et al.* (2015) fizeram um levantamento de artigos nacionais e internacionais sobre telhados verdes publicados em mais de 70 revistas científicas entre 2001 e 2014 e concluíram que a evolução das pesquisas com telhados verdes é notável, sobretudo desde 2010, quando foram estudados cerca de 60% do total das pesquisas desde 2001. América do Norte, Europa e Ásia concentram quase 90% dos experimentos publicados em periódicos, seguidos de América do Sul e Oceania com 11%. Concluíram também que há avanço nas pesquisas com telhados verdes sobre, fundamentalmente, capacidade de retenção do volume precipitado e da melhoria do conforto térmico nas edificações.

2.1.1 Aplicações e classificação

Conforme mencionado por Castro (2011), os telhados verdes estão sendo usados em diversos países na Europa, Estados Unidos, Japão e Austrália, nos quais são adotados não apenas em residências como também em empreendimentos comerciais e industriais. Na Alemanha, país que adota telhados verdes em grande escala, a legislação ambiental e os códigos de obras de vários estados e municípios incluem aspectos relativos a este tipo de estrutura. Os telhados verdes podem ser utilizados tanto em superfícies planas quanto em superfícies bastante inclinadas, desde que se tomem os devidos cuidados para contenção e estabilidade do substrato e vegetação.

De acordo como Minke (2004), é possível classificar os telhados verdes de acordo com as inclinações. Telhados com até 5% de inclinação são considerados telhados planos; entre 5% e 35% de inclinação é chamado de telhado de encosta suave; entre 36% e 84% chama-se telhado com declive e por fim telhados com inclinação superior a 84% são chamados de telhados íngremes. O mesmo autor complementa que para telhados de encosta suave geralmente se dispensa a colocação de segurança contra deslizamento do substrato. 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.

Segundo Dunnett *et al.* (2007), as coberturas verdes podem apresentar dois tipos básicos: os telhados extensivos e os telhados intensivos. Os telhados extensivos são feitos com uma camada de substrato mais delgada, suportam vegetais com raízes curtas, como gramíneas e suculentas e praticamente dispensam manutenção. Já os telhados intensivos apresentam uma camada de substrato mais espessa, podendo suportar espécies vegetais de maior porte e requerem mais cuidados, além de exercerem uma carga elevada na estrutura.

Na Tabela 2.1 observam-se as principais características dos telhados verdes extensivos e intensivos.

Tabela 2.1 - Características dos telhados verdes intensivos e extensivos.

Características	Telhado Extensivo	Telhado Intensivo
Propósito	Gestão de águas pluviais; Isolamento térmico, Resistência contra fogo.	Estético; aumento do espaço de lazer.
Requisitos Estruturais	Normalmente dentro de parâmetros normais de suporte de peso do telhado; 70-170 kg/m ² .	Necessário planejamento na fase de projeto ou de melhorias estruturais; 290-970 kg/m ² .
Profundidade média substrato	2 a 20 cm	20 cm ou mais
Vegetação	Vegetação rasteira e musgos resistentes ao estresse (por exemplo, <i>Sedum</i> spp., <i>Sempervivum</i> spp.)	Nenhuma restrição além das impostas pela profundidade substrato, clima, altura e exposição na edificação e instalações de irrigação.
Irrigação	A maioria exige pouca ou nenhuma irrigação.	Muitas vezes requerem irrigação.
Manutenção	Pouca ou nenhuma manutenção necessária; Remoção de ervas daninha, se necessário.	Manutenção semelhante a jardins no nível do solo.
Acessibilidade	Vai precisar de acessibilidade básica para manutenção.	Boa acessibilidade.

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

A National Roofing Contractors Association (2007) classifica os telhados verdes em três tipos de acordo com a altura: telhados extensivos, são sistemas de telhado verde com substrato de 2 polegadas (50,8 mm) à 6 polegadas (152,4 mm) de profundidade, telhados semi-intensivos, o substrato varia entre 6 polegadas (152,4 mm) e 10 polegadas (254,0 mm) e por fim como telhados intensivos, quando o sistema de telhado verde apresenta substrato acima de 10 polegadas (254,0 mm) de profundidade.

2.1.2 Composição

De acordo com Minke (2004) e a National Roofing Contractors Association (2007) os principais componentes de um telhado verde são:

a) Estrutura de base: os telhados verdes podem ser construídos em lajes ou sobre telhas. Deve-se atentar para a capacidade de suporte da carga pela estrutura. O mais frequente são bases projetadas em concreto armado e lajes pré-fabricadas, ou ainda madeira compensada ou pranchas de madeira. Um engenheiro de estruturas deve ser consultado na concepção da estrutura de qualquer sistema de telhado verde.

b) Impermeabilização: componente muito importante que garante a segurança da estrutura contra infiltrações de água. Pode-se utilizar uma variada gama de materiais, e.g. mantas e emulsões asfálticas, alguns tipos de lonas e as geomembranas (material geossintético). Os tipos de geomembranas mais encontradas em telhados verdes são as fabricadas com policloreto de vinila (PVC) e Etileno Propileno Dieno Monômero (EPDM), que apresentam boa flexibilidade. O tipo de impermeabilização varia de acordo com o tipo de estrutura, espécie vegetal que será utilizada, disponibilidade de materiais e custo. Conforme mencionado por Gonçalves *et al.* (2005), o revestimento de impermeabilização deve ser capaz de se opor à passagem de água do exterior para a camada subjacente, para satisfazer à exigência de estanqueidade à água, a principal exigência de aptidão ao uso dos revestimentos de impermeabilização. No que se refere às exigências relativas à conservação das suas qualidades, os materiais utilizados nos revestimentos de impermeabilização devem ser compatíveis entre si, com as outras camadas da cobertura (em particular, com o suporte da impermeabilização e a sua proteção) e com os materiais de uso corrente na construção com os quais a impermeabilização poderá estar em contato, quer direto, quer indireto, por intermédio de produtos dissolvidos e transportados pela água. Os movimentos do suporte e as solicitações mecânicas (estáticas e dinâmicas) contam-se entre os fatores susceptíveis de influenciar o desempenho do revestimento de impermeabilização por poderem alterar as suas qualidades.

c) Drenagem: pode ser feita com material natural granular com boa permeabilidade como alguns tipos de areia, brita e argila expandida ou materiais geossintéticos como os geotêxteis, geomantas, georredes e geoespaçadores. A camada drenante tem como função direcionar o excesso de água para a rede pluvial ou para cisternas. Minke (2004) afirma que para telhados planos deve-se tomar maior cuidado com a drenagem já que em telhados com certa inclinação a água tem

maior facilidade de escoar. A Conservation Technology (2008) divide os sistemas de drenagem em três tipos (Figura 2.7): a) drenagem em placas, que são geoespaçadores que possibilitam o armazenamento de água na parte superior e a drenagem da água na parte inferior; b) drenagem tipo granular, utiliza um material inorgânico, leve e poroso incorporado a um tubo de drenagem (geotubo); e c) tapete de drenagem, com núcleo formado por um material geossintético com capacidade drenante, que pode ser uma georrede ou uma geomanta, coberto por um geotêxtil em um ou dos dois lados, o que combina a separação do solo, drenagem e funções de proteção em um único produto chamado de geocomposto. Este sistema é o mais rápido de instalar e cria o conjunto de telhado verde mais fino e leve. No entanto, o seu armazenamento de água e capacidade de drenagem são limitadas.

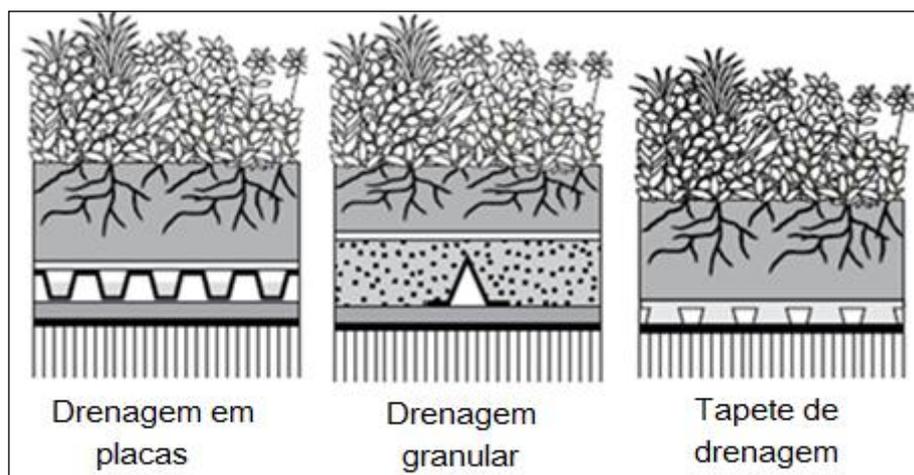


Figura 2.7 - Sistemas de drenagem em telhados verdes.
Fonte: Adaptado de Conservation Technology (2008)

d) Filtro: camada feita em material geotêxtil com função de separar o substrato da camada drenante. Deve ter poros com tamanho capazes de conter as partículas mais finas do substrato e que permitam o perfeito fluxo de água. São essenciais para que a camada drenante mantenha seu pleno funcionamento.

e) Substrato: o substrato é a camada de suporte da vegetação, onde se desenvolvem as raízes das plantas. Suas principais funções são servir de matéria prima nutriente, armazenar e drenar água, e ter poros com ar suficiente para o crescimento das raízes (Krebs, 2005). Minke (2004) menciona que o substrato deve estar em harmonia com o tipo de vegetação sobre ele e que para telhados

extensivos que fazem utilização de grama, ervas silvestre e Sedum não é recomendado o uso demasiado de húmus. O mesmo autor recomenda que o substrato contenha um máximo de 20% de finos (argila e silte) e que seja empobrecido com 25 a 75% do volume com grãos minerais. São adequados para isso, por exemplo, pedra pomes, ardósia expandida, argila expandida partida e material reciclado de tijolos porosos. O substrato deve apresentar boa capacidade de reter água e ao mesmo tempo possibilitar a drenagem da água sem compactar-se.

f) Vegetação: existem muitos estudos a respeito do tipo de vegetação utilizada em telhados verdes que em grande maioria são voltados para climas temperados. Beatrice (2011) avaliou o comportamento de três diferentes espécies de gramas, sob três profundidades de substrato, 0,05, 0,075 e 0,10 m. Foi quantificada mensalmente a porcentagem de cobertura vegetal, crescimento vertical e de sobrevivência, durante o ciclo de um ano. Foi observado um bom desempenho das três espécies vegetais, concluindo que os solos de espessura menor que 10 cm, apresentam baixo valor de sobrevivência em períodos de pouca chuva. Os telhados verdes podem ser vegetados com varias espécies de plantas, a escolha dependerá de diversos fatores, entre eles, o clima e a profundidade do substrato. Os tipos de vegetação mais comumente encontrados são gramíneas e as popularmente chamadas de suculentas, que possuem notável tolerância a extremos climáticos (calor e frio, umidade e seca). Este tipo de planta tem a capacidade de armazenar muita água nas folhas e se recuperam muito facilmente de períodos de seca (Pinto, 2014).

Outros componentes podem oferecer novas funções aos telhados verdes, como:

a) Estabilidade do substrato: para inclinações acima de 15° é recomendada a utilização de componentes que deem estabilidade ao substrato para evitar deslizamentos (Minke, 2004). Materiais geossintéticos como geogrelhas, geocélulas ou geomantas podem apresentar resultados positivos nessa função e serão mais bem abordados no item 2.3.

b) Proteção contra raízes: camada alternativa localizada abaixo da camada de drenagem que tem por finalidade a proteção da impermeabilização. Alguns tipos de geomembranas ou geotêxteis desempenham esse papel. Essa camada não é

essencial para todos os casos, variando de acordo com o tipo de vegetação e de impermeabilização utilizadas. Minke (2004) afirma que testes de muitos anos mostram que as impermeabilizações a base de betume (tipo de manta asfáltica) foram atravessadas por raízes de plantas distintas, como mostra-se na Figura 2.8.



Figura 2.8 - Camada de impermeabilização sendo atravessada por uma raiz.
Fonte: Minke (2004)

c) Retenção de água: Esses dispositivos aumentam a capacidade de retenção de água pelo telhado, mas conseqüentemente aumentam a sobrecarga na estrutura. Essa função pode ser desempenhada por geoespaçadores, que além de serem responsáveis pela drenagem apresentam pequenos reservatórios que armazenam determinada quantidade de água que poderá ser utilizada pela vegetação em períodos de estiagem, prolongando-se a capacidade da vegetação se manter saudável.

d) Isolamento térmico: tem como principal papel a redução das transferências térmicas entre os ambientes exterior e interior. A espessura do isolamento térmico nas coberturas verdes é inversamente proporcional à espessura da camada de terra vegetal adotada. Nas coberturas verdes intensivas esta camada é dispensada, pois o solo vegetal assume o papel redução das transferências de calor.

2.1.3 Sistemas construtivos

As coberturas verdes podem ser feitas de materiais naturais como, bambu, pedrisco, terra, palha e grama, além de lona para impermeabilizar a base, como descrito por Lengen (2014). A Figura 2.9 mostra os passos para se construir um telhado verde artesanal.

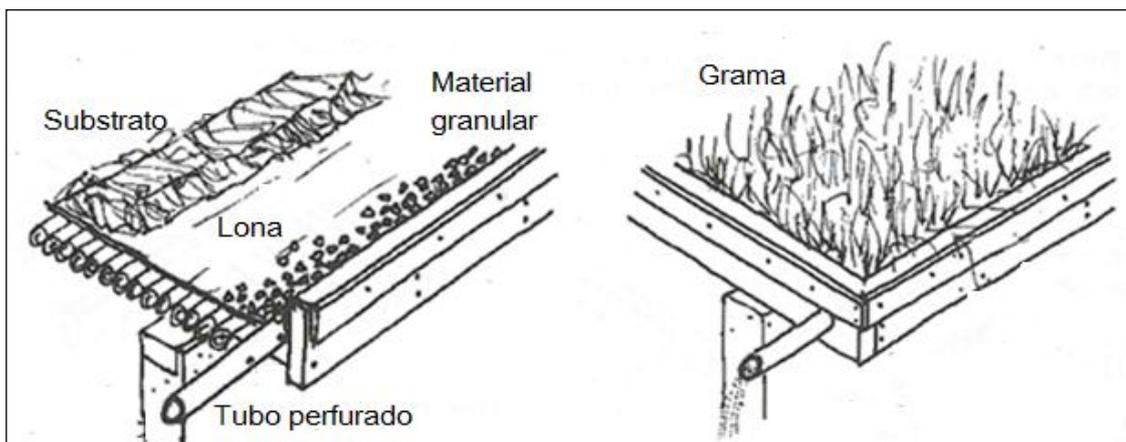


Figura 2.9 - Telhado verde artesanal.
Fonte: Lengen (2014)

Com o passar dos anos, a técnica construtiva dos telhados verdes se modernizou e criaram-se diferentes possibilidades, principalmente com a introdução de materiais geossintéticos. Com base nos manuais fornecidos pela empresa Ecotelhado (2014) apresentam-se os sistemas alveolar e laminar.

O sistema alveolar (Figura 2.10) é utilizado para coberturas planas e inclinadas e necessita que sejam construídos beirais em todo perímetro da cobertura que servirão de contenção para o substrato. Na estrutura é feita a impermeabilização da base e beirais. Sobre a camada de impermeabilização é colocado um material com capacidade drenante que pode ser uma geomanta, ou um geoespaçador. Sobre o material drenante é instalado um geotêxtil que tem por função evitar a passagem de partículas do substrato para o sistema de drenagem. O geotêxtil deve estender-se por toda base e beiral. O geoespaçador, além da capacidade drenante, retêm certa quantidade de água, que é aproveitada pelas raízes da vegetação. Com o geotêxtil instalado basta espalhar o substrato e fazer o

plântio da vegetação. Esse sistema pode apresentar variações em suas camadas, de acordo com cada situação.

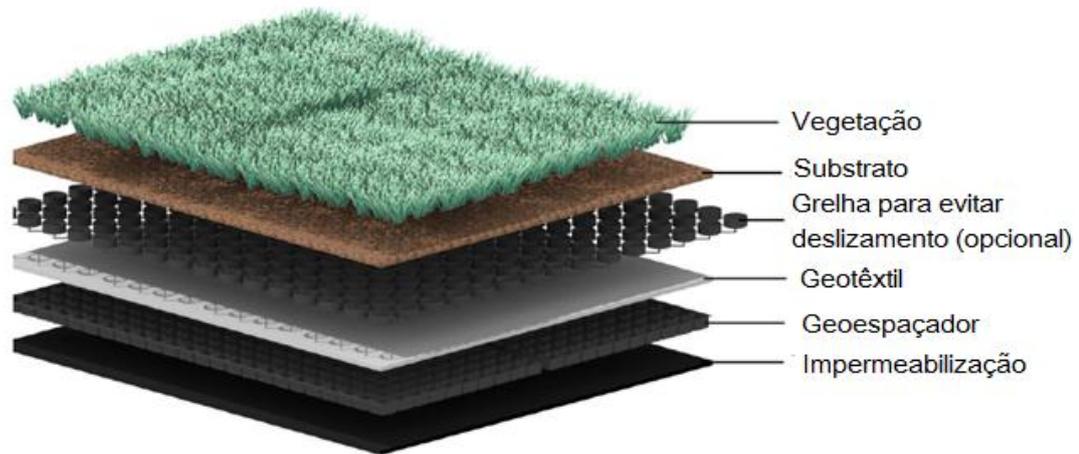


Figura 2.10 – Componentes do sistema alveolar.
Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2014)

O sistema laminar é utilizado em coberturas completamente planas com beirais impermeabilizados. Nesse sistema faz-se uso de um geoespaçador e uma lamina d'água com drenos a uma altura determinada acima da base superior da laje impermeabilizada. A irrigação é feita pela parte inferior da laje mantendo-se uma lamina d'água abaixo do substrato. A Figura 2.11 apresenta detalhes do sistema laminar.

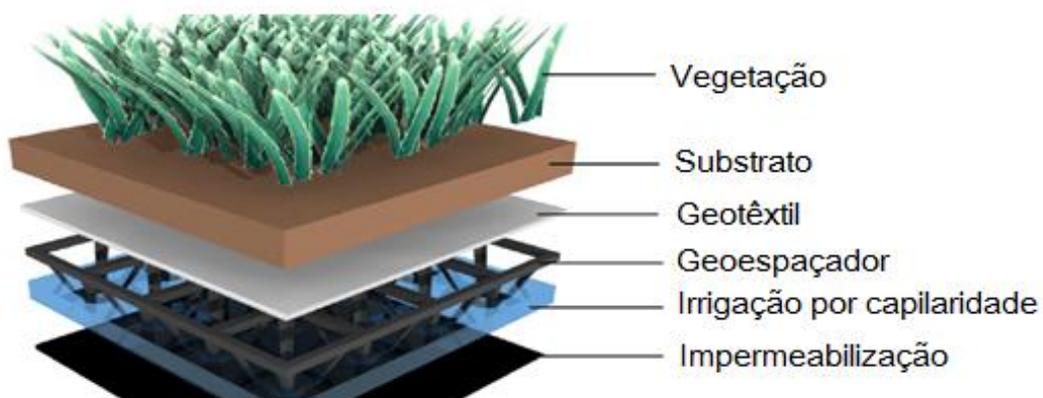


Figura 2.11 – Componentes do sistema laminar.
Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2014)

2.1.4 Benefícios

Os benefícios dos telhados verdes se dividem em três categorias principais: gestão de águas pluviais, conservação de energia e disposição de habitat urbano (Dunnett *et al.*, 2007). Estudos por todo o mundo avaliam o efeito benéfico de coberturas verdes em áreas urbanizadas. Tais benefícios fizeram com que, em algumas cidades, o uso de coberturas verdes seja obrigatório para determinadas situações. De acordo com Dunnett *et al.* (2007) e IGRA (2015) (International Green Roof Association), podem ser destacados os seguintes benefícios dos telhados verdes:

- ✓ Capacidade de retenção de água, prevenindo inundações;
- ✓ Isolamento térmico dos ambientes, promovendo economia de energia com condicionamento de ar;
- ✓ Redução dos níveis de poluição; Filtração de partículas de poeira e fumaça e absorção de componentes de chuva ácida.
- ✓ Redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas;
- ✓ Aumento da vida útil da cobertura;
- ✓ Diminuição dos ruídos externos no interior da edificação;
- ✓ Uso do espaço para recreação e lazer;
- ✓ Melhoria da qualidade de vida e da saúde física e mental da população;
- ✓ Incorporação da edificação à natureza;
- ✓ Regulação da umidade;
- ✓ Reestruturação do ecossistema urbano, com a preservação da biodiversidade local.

A capacidade de isolamento térmico e a capacidade de retenção de água são os benefícios ou características mais estudados dos telhados verdes (Ohnuma *et al.*, 2015). Dar-se-á, portanto, atenção à capacidade de retenção de água, que é o tema principal deste estudo.

2.1.5 Capacidade de retenção de água dos telhados verdes

As construções e a pavimentação impedem a infiltração da água da chuva nas áreas urbanas, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a infiltração e a recarga subterrânea. A diminuição de áreas com potencial de infiltração pode fazer com que o escoamento superficial sobrecarregue o sistema de drenagem pluvial urbana, causando sérios problemas como erosão, desmoronamentos, poluição de mananciais e os alagamentos que rotineiramente são noticiados em grandes metrópoles do Brasil.

Castro (2011) afirma que a variação da capacidade de reter água de uma cobertura verde, esta ligada principalmente a espessura e composição do substrato, mas também pode variar de acordo com o tipo de vegetação, dos materiais utilizados nas camadas de drenagem, da inclinação da cobertura e do número de dias antecedentes sem chuva. A partir da observação do comportamento hidrológico de uma cobertura verde plana e outra inclinada para 19 eventos de precipitação, Castro (2011) obteve importantes contribuições para o entendimento dos benefícios dos telhados verdes no tocante à redução de enchentes. Para a cobertura verde plana não foi registrado escoamento em nenhum dos eventos nas três primeiras horas de precipitação enquanto para o telhado verde com inclinação de 15° foi registrado escoamento em 8 eventos analisados. Para um evento de 44 mm foi registrado um escoamento de 3,75 mm para a cobertura plana e 21,09 mm para a cobertura inclinada, resultando em uma retenção de 91% e 52%, respectivamente. Esses resultados apontam um melhor desempenho dos telhados planos (terraços) em relação aos telhados inclinados, o que comprova que a inclinação do telhado influencia nos volumes escoados. Castro (2011) verificou também que mesmo passadas 24 horas de precipitação a cobertura verde continua a influenciar o volume escoado.

Em Mentens *et al.* (2005), pode-se ver um apanhado de 18 publicações sobre a capacidade de retenção de água dos telhados verdes, levando à conclusão que, mesmo sob um cenário modesto de apenas 10% dos telhados de Bruxelas ser telhados verdes extensivos (10 cm de profundidade de substrato), a redução do escoamento pode facilmente ser de 2,7% para a região e de 54% para os edifícios individuais. Os autores comentam também que, devido a sua capacidade de

armazenamento de água, os telhados verdes podem reduzir significativamente o pico de escoamento em eventos de chuva. A redução consiste em atrasar o tempo inicial de escoamento, devido à absorção de água no sistema de telhado verde, em reduzir o escoamento total, retendo parte da precipitação, e na distribuição do escoamento ao longo de um período de tempo, através da liberação do excesso de água que é armazenada temporariamente nos vazios do solo de substrato. Na Figura 2.12 apresenta-se um gráfico que compara a capacidade de retenção de água de um telhado verde e de um telhado comum, como resultado de uma pesquisa realizada em Leuven (Bélgica), num período de 24 horas, com um total de chuva de 14,6 mm. Ambos os telhados tinham inclinação de 20°. Observa-se que, de um total de quase 15 mm precipitados durante o dia, o telhado convencional reteve uma pequena quantidade (13%) desse volume, escoando cerca de 13 mm. Por sua vez, o telhado verde escoou menos de 5 mm, apresentando uma capacidade de retenção por volta de 70% .

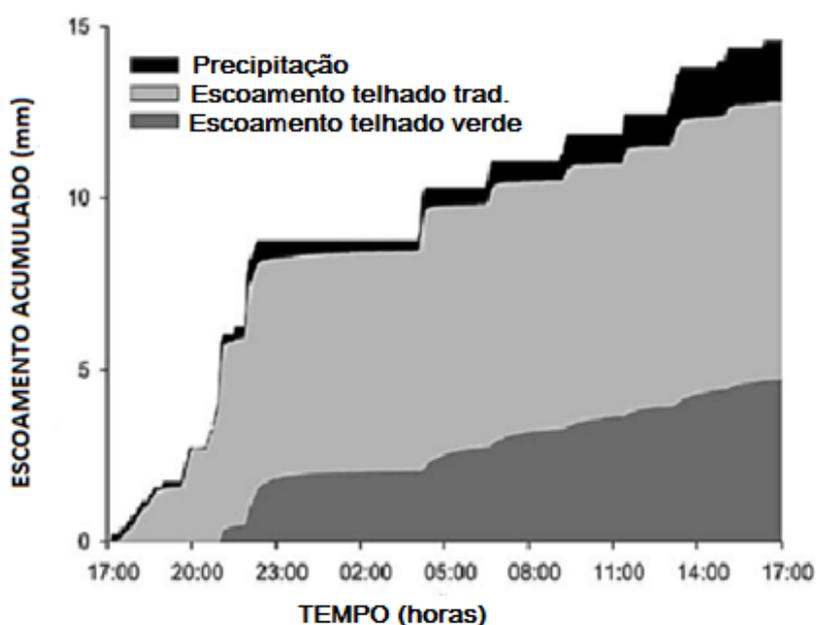


Figura 2.12 – Comparação do escoamento de água de um telhado verde e um telhado comum. Pesquisa feita em Leuven (Bélgica) num período de 24 horas. Fonte: Adaptado de Mentens *et al.* (2005)

Dunett *et al.* (2007) concluem que a relação anual precipitação-escoamento para telhados verdes é fortemente determinada pela profundidade da camada de

substrato. A Figura 2.13 mostra uma comparação entre os volumes de água escoados de um telhado verde e de um telhado convencional em Ottawa, Ontário, Canadá, em 2002. O telhado verde tinha 15 centímetros de substrato, vegetado com uma espécie de grama. Em junho, mês em que houve a maior incidência de chuvas a capacidade de retenção foi menor que nos outros meses observados.

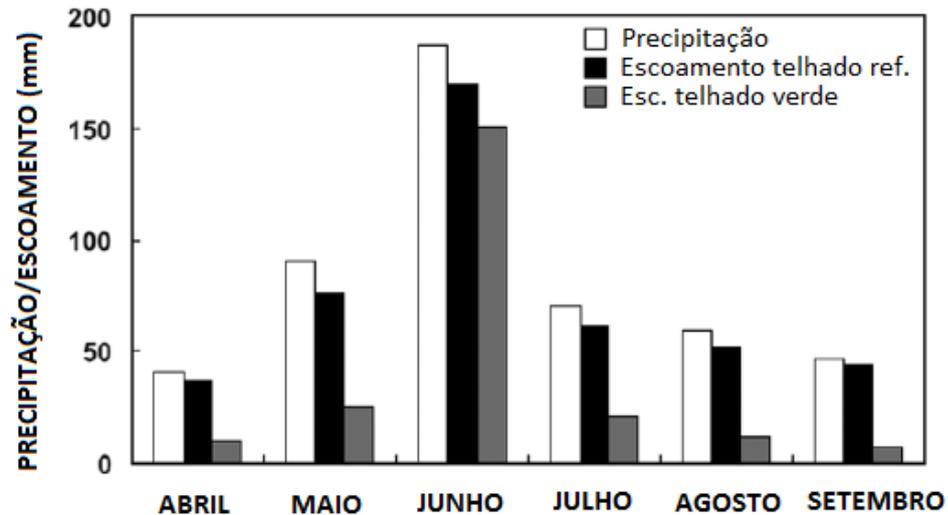


Figura 2.13 - Comparação do escoamento da água da chuva em um telhado verde e um telhado convencional.

Fonte: Adaptado de Liu e Baskaran (2003).

Tassi *et al.* (2014) construíram junto às dependências da Universidade Federal de Santa Maria, uma estrutura de telhado com aproximadamente 12 m², dividida em duas regiões, metade da área com cobertura verde com 8 cm de substrato e metade com telhado convencional com telha de fibrocimento, ambos com declividade de 1%. Foram analisados 43 eventos de chuva entre os anos de 2010 e 2012. Em média, apenas 38% do volume total de chuva que incidiu no telhado verde resultaram em escoamento, contra os 87% do telhado convencional, mostrando que, mesmo parcialmente, foi possível controlar o escoamento pluvial. A capacidade média de armazenamento de água no telhado verde foi de 12,1 mm/m².

Em Caruaru, no estado de Pernambuco, Santos *et al.* (2013) realizaram a simulação de chuva de trinta minutos, com duas intensidades de precipitação, em dois telhados verdes e um telhado controle (telhas de barro) com aproximadamente

4 m² cada, visando verificar o desempenho desse sistema construtivo na redução do escoamento superficial. Um dos modelos foi vegetado por um tipo de cactos chamado popularmente de coroa de frade e o outro pela grama popularmente chamada de grama de burro. Os resultados, ilustrados nas Tabelas 2.2. e 2.3, mostram uma redução entre 13% e 30% no volume de água escoada pelas coberturas verdes. Observa-se que o aumento da intensidade da precipitação ocasiona uma diminuição na capacidade de retenção.

Tabela 2.2 - Balanço de entrada e saída de água para intensidade de precipitação de 42 mm/h.

Telhado	Precipitação (L)	Volume escoado (L)	Volume retido (L)	% Retido
Grama	84,00	55,793	28,207	33,6
Cacto	84,00	57,074	26,926	32,1
Controle	84,00	82,095	1,905	2,3

Fonte: Santos *et al.* (2013)

Tabela 2.3 - Balanço de entrada e saída de água para intensidade de precipitação de 79 mm/h.

Telhado	Precipitação (L)	Volume escoado (L)	Volume retido (L)	% Retido
Grama	157,2	132,879	24,321	15,5
Cacto	157,2	137,973	23,227	14,2
Controle	157,2	152,678	4,522	2,1

Fonte: Santos *et al.* (2013)

Hathaway *et al.* (2008) observaram o desempenho hidrológico de dois telhados verdes na Carolina do Norte, um deles em Goldsboro, com 70 m² de área, plano e com uma profundidade de substrato de 7,5 cm e o outro em Kinston com 27 m² de área e profundidade de substrato de 10 cm. A camada de drenagem de ambos os protótipos foi constituída por material geossintético. No telhado de Goldsboro, um modelo de geocomposto formado por uma georrede e um geotêxtil não-tecido cumpriu essa função. Em Kinston, foi utilizado um geoespaçador com capacidade de armazenamento de 4 litros de água por m² e um geotêxtil não-tecido. A porcentagem de retenção tanto para Goldsboro como para Kinston foi de 64% do total precipitado. A capacidade de retenção de água pelos telhados verdes foi menor quando vários eventos de chuva ocorreram em dias consecutivos. Na Figura 2.14

observa-se que em Goldsboro nos meses com maior volume precipitado a porcentagem retida foi menor, com valores entre 40% e 90%.

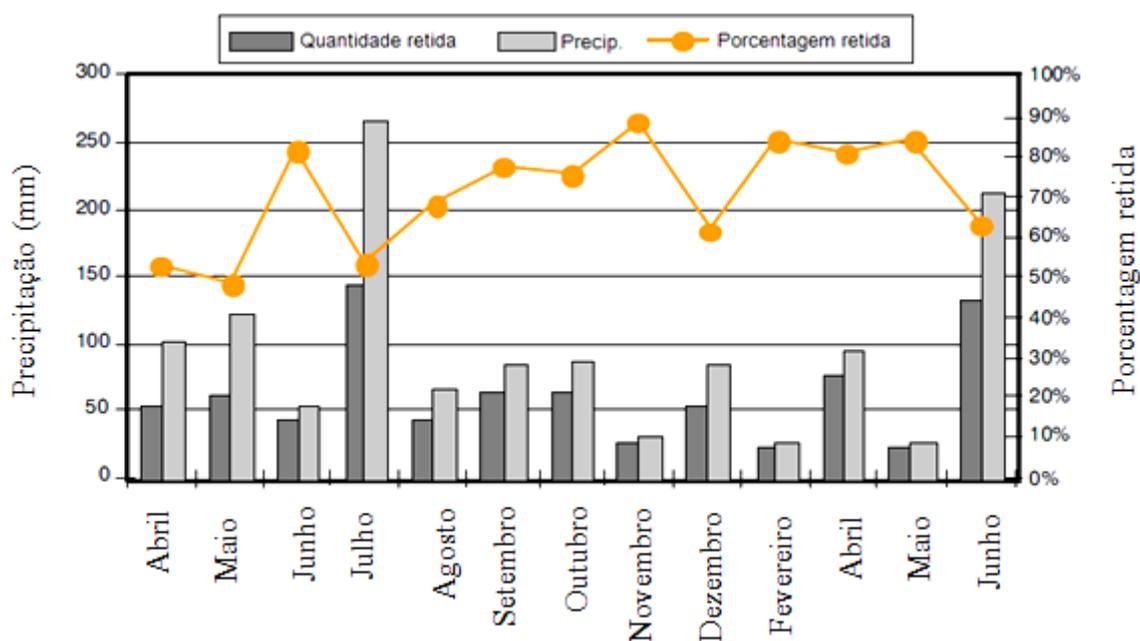


Figura 2.14 - Capacidade de retenção observada para o telhado de Goldsboro entre abril de 2003 e junho de 2004 (em janeiro de 2004 não houve registro de chuva). Adaptado de Hathaway *et al.*, (2008)

Uma cobertura verde foi analisada na cidade de Portland (EUA), onde houve retenção do volume da água entre 10% e 35% durante a estação chuvosa e 65% e 100% durante a estação seca. Nesse trabalho se confirma a capacidade de retenção de água durante e após fortes chuvas, que através da vegetação, substrato e a camada de drenagem podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais (Cantor, 2008).

Baldessar (2012) monitorou um protótipo de telhado verde na cidade de Curitiba, entre novembro de 2011 e fevereiro de 2012 e comprovou a capacidade de redução da água de escoamento durante os períodos de chuva. Do total precipitado no período observado, uma laje impermeável escoou 325 mm, uma cobertura com telhas cerâmicas 251 mm e o telhado verde 99 mm. Portanto o protótipo de telhado verde escoou apenas 30% do escoado pela laje impermeável, enquanto o protótipo com telhas cerâmicas teve um escoamento de 77%. Portanto com o telhado verde se obteve uma retenção de aproximadamente 70% em relação à laje impermeável.

2.1.6 Limitações quanto à utilização de coberturas verdes

A aplicação de telhados verdes ainda carece de investigações, principalmente para abordar suas principais limitações, mencionadas a seguir.

a) Necessidade de manutenção: é um dos pontos importantes de estudos com relação à técnica. Um telhado verde deve possuir uma configuração que de acordo com o clima da região onde está inserido, consiga manter-se vivo durante períodos de estiagem. Para isso sistemas com capacidade de reter água ou sistemas hidropônicos podem ser boas alternativas. Pode-se ainda optar por sistemas de irrigação automatizados. Assim os cuidados com o telhado verde podem ser reduzidos à adubação e à retirada de espécies invasoras perigosas. Portanto, estudos de composições de substrato, tipos de vegetação e novas técnicas construtivas que armazenem maior quantidade de água são de extrema importância.

b) O investimento inicial pode ser alto, dependendo do projeto: o custo da construção de um telhado verde pode variar muito, dependendo do que se pretende fazer. Uma camada mais profunda de substrato levará a uma maior sobrecarga e conseqüentemente uma estrutura mais robusta aumentando o custo. A impermeabilização pode ser feita a partir de uma variada gama de produtos ou de combinação de produtos, podendo-se fazer a baixo ou alto custo, interferindo assim no seu tempo de vida útil. Portanto é complicado afirmar sobre o custo de uma cobertura verde. O que se pode afirmar são os benefícios econômicos e ambientais já mencionados.

c) Possibilidade de presença de insetos e outros animais indesejados no interior da edificação: essa é uma preocupação frequente. O que se pode afirmar é que com o telhado verde, cria-se, pois, um novo habitat para determinadas espécies, o que inclusive, é tratado como um benefício da técnica. Quanto a invasão desses animais a edificação não se encontrou nenhum relato.

d) Carência de mão de obra especializada: a falta de mão de obra é conseqüência, entre outras coisas, da falta de procura pelo serviço. Há ainda uma insegurança na hora de optar-se por telhado verde, que é fruto da falta de informações sobre os benefícios e funcionamento desse método.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDROLOGIA

A hidrologia é uma ciência interdisciplinar que tem tido evolução significativa em face aos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias, do incremento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente do globo (Tucci, 2009). A água está em constante movimento e transformação, desde o oceano até a atmosfera, até o subsolo, e novamente até o oceano, esse movimento caracteriza o ciclo hidrológico, ilustrado na Figura 2.15.

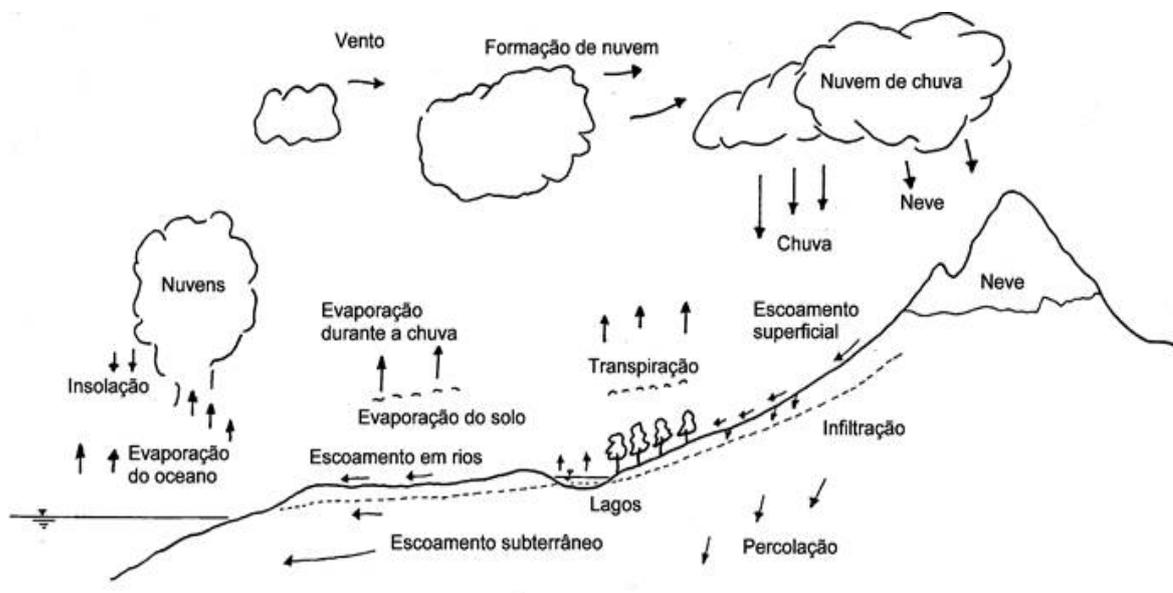


Figura 2.15 - Ciclo hidrológico.
Fonte: Larapedia (2016)

2.2.1 Precipitação

Precipitação é a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre como chuva, orvalho, neblina, neve ou geada. Todas as transformações realizadas na atmosfera são resultantes do calor recebido pelo sol. A formação das precipitações está ligada à ascensão das massas de ar, que pode ser devida a convecção térmica, relevo e ação frontal de massas. A ascensão do ar provoca um resfriamento que pode fazê-lo atingir seu ponto de saturação, ao que se seguirá a condensação do vapor de água em forma de minúsculas gotas que são

mantidas em suspensão como nuvens e nevoeiro. Para que ocorra precipitação é necessário que essas gotas cresçam até atingirem peso suficiente para vencerem as forças de sustentação (Pinto, 1976).

2.2.1.1 Medidas das precipitações

De acordo com Tucci (2009) as grandezas que caracterizam uma chuva são:

a) Altura pluviométrica: É a espessura média da lamina d'água precipitada admitindo-se que essa água não infiltrasse, não evaporasse, nem escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de um litro por metro quadrado de superfície;

b) Duração: período de tempo em que a precipitação acontece. Utiliza-se geralmente minuto ou hora.

c) Intensidade: é a razão entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, expressa, usualmente, em milímetros por minuto ou milímetros por hora.

d) Tempo de retorno: é interpretado como o número médio, em anos, durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

d) Frequência de probabilidade: é o inverso do tempo de retorno, ou seja, a probabilidade de um fenômeno igual ou superior acontecer em um ano qualquer. Por exemplo, uma precipitação com 1% de probabilidade de ser igualada ou superada num ano tem um tempo de retorno de 100 anos.

2.2.1.2 Aquisição de dados de precipitações

Basicamente existem duas maneiras de medir a chuva: Pontualmente com pluviômetros ou pluviógrafos, ou espacialmente com radares. Pluviômetro é um recipiente com volume suficiente para armazenar as maiores quantidades de chuvas dentre o período de tempo estipulado entre as leituras. Precisa de leituras em

intervalos de tempo fixos. Podem ser encontrados facilmente no comércio, os quais já indicam no recipiente a quantidade, em milímetros, da precipitação em um determinado intervalo de tempo. Na Figura 2.16 mostram-se exemplos de pluviômetros.



Figura 2.16 - Pluviômetros.

Um pluviômetro pode ser obtido utilizando-se provetas ou outros recipientes similares, onde se possa medir o volume de água armazenado e a área da superfície de entrada de água desse recipiente (boca). A partir da Equação (2.1) pode-se calcular a lâmina d'água precipitada. Onde: P = precipitação acumulada em mm; V = volume recolhido em cm³ ou em ml; A = área de interceptação em cm² (área da entrada de água do recipiente).

$$P = 10 * V / A \quad (2.1)$$

Nos pluviógrafos, por sua vez, o registro é marcado em um diagrama chamado pluviograma. Conforme o reservatório é preenchido com água da chuva, uma haste com tinta na ponta sobe e faz o registro no papel afixado no tambor. Permite a medição da intensidade de chuva em cada instante. Existe uma grande variedade de aparelhos, com princípios diferentes para medir e gravar continuamente as precipitações. Na Figura 2.17 é mostrado um exemplo de pluviógrafo e de pluviograma.

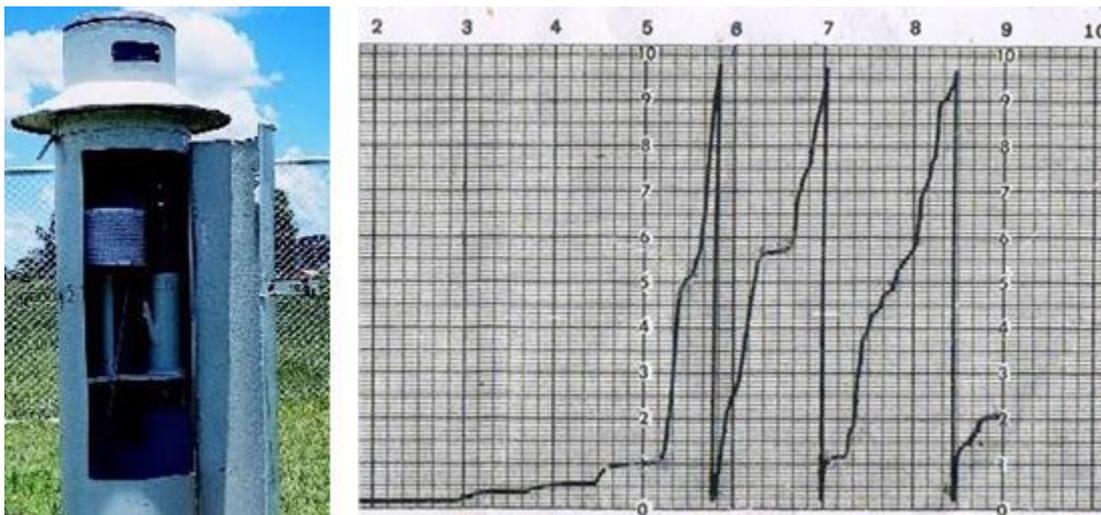


Figura 2.17 -. Exemplo de um Pluviógrafo e um Pluviograma.
Fonte: Fortaleza (2011)

2.2.2 Escoamento superficial

Escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra (Pinto, 1976). Ele tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. Parte da água das chuvas é interceptada pela vegetação e evapora posteriormente. Do volume que chega a superfície do solo, parte é retida em depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoam pela superfície. Sua trajetória é determinada principalmente pelas linhas de maior declive do terreno e influenciadas por obstáculos existentes. As grandezas características que regem o escoamento superficial, de acordo com Pinto (1976), são:

a) Bacia Hidrográfica: é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada.

b) Vazão: é o volume de água escoado por unidade de tempo em uma determinada seção do curso d'água. As vazões podem ser divididas em vazões normais e vazões de inundação. No primeiro caso estão as que, ordinariamente, escoam no curso de água e no segundo as que ultrapassando um valor-limite, excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos d'água.

c) Frequência: é o número de ocorrência de uma mesma vazão Q num intervalo de tempo. Pode ser expressa dizendo-se que em uma seção considerada, ocorrerão valores iguais ou superiores ao valor Q apenas uma vez a cada T anos.

d) Coeficiente de deflúvio: é a relação entre a quantidade total de água escoada pela seção e a quantidade total de água precipitada na bacia hidrográfica.

e) Tempo de concentração: é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção em estudo. Corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção.

2.3 APLICAÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS EM TELHADOS VERDES

De acordo com Vertematti (2004), geossintéticos são produtos constituídos essencialmente por poliméricos e em menor escala, por aditivos, desenvolvidos para aplicação em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, como se pode ver na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Principais aplicações e geossintéticos utilizados.

Principais Aplicações	Geossintéticos Utilizados
Barreiras Impermeabilizantes	Geomembranas (GM); Geocompostos argilosos para barreiras (GCL)
Filtração	Geotêxteis tecidos (GTw); Geotêxteis não-tecido (GTnw)
Drenagem	Geotêxteis (não-tecido) espessos; Geoespaçadores (GSP); Georredes (GN); Geomantas (GA); Geoexpandidos; Geocompostos (GCD)
Reforços de solos	Geotêxteis (GT); Geogrelha (GG); Geotiras; Geocompostos resistentes (GCR)
Erosão superficial	Geotêxteis; Geomantas; Geocélulas (GL); Georredes; Geogrelhas
Separações de materiais	Geotêxteis; Geomembranas;
Proteção	Geotêxteis não-tecido; Geocélulas; Geoespaçadores; Geoexpandidos.
Restauração de pavimentos	Geotêxteis não-tecido; Geogrelhas;

Fonte: Baseado em Vertematti (2004)

O comportamento de um geossintético depende das matérias-primas que o compõe, dos polímeros básicos e aditivos, e do processo de fabricação. Os principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos são polietileno, poliestireno expandido, polipropileno, polivinil clorado, poliéster, poliestireno, e poliamida. Os aditivos utilizados na fabricação dos geossintéticos podem proporcionar melhorias ou modificar aspectos do comportamento do polímero básico. Entre esses aditivos citam-se os plastificantes, que aumentam a flexibilidade do material e os aditivos anti-UV, que protegem os geossintéticos da fotoxidação causada pela radiação ultravioleta, sendo o negro-de-fumo o mais comumente utilizado nessa função. Existem ensaios padronizados para determinação das propriedades físicas, mecânicas, hidráulicas e de desempenho dos geossintéticos. Maiores detalhes sobre os ensaios são encontrados em Vertematti (2004) ou na relação de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT referentes aos geossintéticos apresentada no Apêndice E.

Os geossintéticos estão cada vez mais presentes em diversos tipos de obras e tem aumentado significativamente nos últimos anos na Engenharia Civil. Dar-se-á atenção aos materiais geossintéticos com maior possibilidade de utilização em telhados verdes, dividindo-os de acordo com suas aplicações.

2.3.1 Aplicações em impermeabilização

O advento dos geossintéticos introduziu novos materiais para composição de barreiras impermeáveis como as geomembranas (GM), que consistem em mantas poliméricas flexíveis que apresentam permeabilidades extremamente baixas (da ordem de 10^{-12} cm/s) utilizadas como barreiras para líquidos e vapores. Tradicionalmente essas barreiras têm sido construídas com diferentes materiais como solo compactado, asfalto e mantas impregnadas com diferentes substâncias (Vertematti, 2004).

As geomembranas podem ser termoplásticas ou termofixas. No primeiro caso elas podem ser retrabalhas (emendadas) várias vezes com aquecimento e resfriamento preservando suas propriedades. Já as termofixas só podem ser processadas uma vez. Algumas geomembranas podem ser soldadas na fábrica,

reduzindo ou eliminando trabalhos de emenda em campo. As geomembranas mais citadas para uso em telhados verdes são as termoplásticas de polietileno de alta densidade (PEAD), polivinil clorado (PVC) e etileno propileno dieno (EPDM), (Minke, 2004; NRCA, 2007; Conservation Technology, 2008).

Na Tabela 2.5 mostram-se as vantagens e desvantagens de algumas geomembranas.

Tabela 2.5 - Vantagens e desvantagens dos principais tipos de geomembranas.

Tipo de geomembrana	Vantagens e desvantagens
PEAD e PEBD (Polietileno de alta e de baixa densidade)	Boa resistência contra diversos agentes químicos; Boas características de resistência e solda; Boas características de resistência mecânica; Baixo atrito de interface se for de superfície lisa; PEAD é relativamente rígido e PEBD é mais flexível;
PVC (Polivinil clorado)	Boa trabalhabilidade (flexível); Facilidade de soldagem (emendas); Bom atrito de interface, mesmo com a superfície lisa; Boas características de resistência mecânica; Baixa resistência a ultravioleta, ozônio, sulfetos e intempéries; Fraco desempenho a altas e baixas temperaturas; Baixa resistência química a algumas substâncias.

Fonte: Adaptado de Vertematti (2004)

O revestimento de impermeabilização é entendido como o conjunto de todos os materiais, componentes e acessórios essenciais para munir a cobertura de uma barreira estanque à água que sobre ele estacione ou circule. No entanto, o revestimento de impermeabilização deve ainda ter outras características fundamentais, como a capacidade de se deformar sem ruptura ou fissuração ao longo da sua vida útil, nas condições de exposição previstas, tanto sob a ação do vento, como acompanhando os eventuais movimentos do seu suporte. Uma incorreta seleção da membrana de impermeabilização pode conduzir à ocorrência de problemas, por não desempenharem corretamente a sua função. Desses problemas resultam quase sempre infiltrações de água para as camadas

subjacentes a do revestimento de impermeabilização ou para os espaços do último piso, provocando prejuízos que podem ser significativos (Gonçalves *et al.*, 2005).

A NRCA (2007) recomenda que independentemente do tipo de membrana de impermeabilização utilizada para telhados verdes, deve-se procurar as seguintes propriedades: baixa absorção de água, baixa transmissão de vapor, resistência à perfuração, resistência química (por exemplo, fertilizantes) e capacidade de resistir às forças impostas pelo projeto, através de resistência à tração ou alongamento. Dependendo do caso pode-se utilizar a sobreposição de duas ou mais camadas, como, por exemplo, a utilização de uma membrana flexível em PVC ou EPDM, que permitem fazer a impermeabilização dos beirais, e sobre esta, uma membrana mais rígida e resistente (PEAD), com função de proteção a danos mecânicos e a perfuração por raízes. O EPDM tem ótimas características de alongamento, que lhe permite moldar-se sobre praticamente qualquer tipo de substrato. Esse modelo de geomembrana pode vir reforçada com fibras de poliéster, o que garante uma maior resistência a tração. Alguns fornecedores oferecem 10 anos de garantia e durabilidade superior a 30 anos.

2.3.2 Aplicações como filtro

Os sistemas filtrantes devem ser concebidos para obedecer a dois critérios contraditórios: o de retenção e o de permeabilidade. Devem, portanto, bloquear a passagem de partículas do solo e ao mesmo tempo permitir o fluxo de líquidos sem elevações significativas na perda de carga. Existem três tipos de geotêxteis que desempenham esta função, os geotêxteis tecidos (GTw), geotêxteis não tecidos (GTnw) ou ainda os tricotados. O geotêxtil tecido é um produto obtido do entrelaçamento de fios, monofilamentos ou laminetes (fitas), segundo direções preferenciais denominadas trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). Os geotêxteis tricotados, por sua vez, são obtidos do entrelaçamento de fios por tricotamento. Os mais utilizados em telhados verdes são os geotêxteis não tecidos, compostos por fibras cortadas ou filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos (chamados

agulhados), processos térmicos (chamados termoligados) ou por produtos químicos (chamados resinados).

Utilizados para filtração, os geotêxteis substituem com vantagens uma ou mais camadas de agregados naturais nos sistemas filtrantes convencionais. As principais vantagens do geotêxtil em relação aos filtros granulares, segundo Vertematti (2004) são: a) menor espessura do filtro, o que em se tratando de telhados verdes, permite uma redução significativa de carga sobre a estrutura; b) trata-se de um produto industrial, portanto com características controladas e regulares; c) há continuidade da estrutura filtrante, mesmo em caso de recalques; e d) facilidade de instalação e baixo custo. Na Figura 2.18 mostram-se diferentes modelos de geotêxteis.

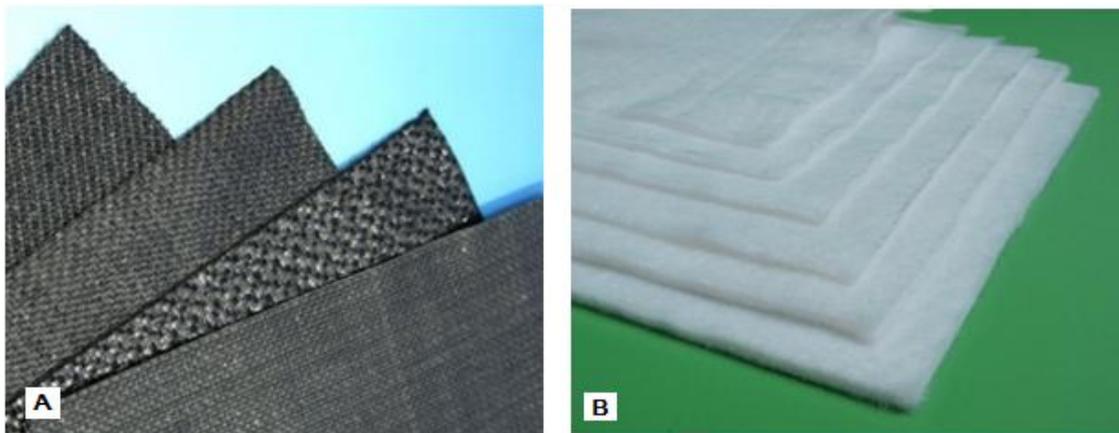


Figura 2.18 – (A) Geotêxtil tecido; (B) Geotêxtil não-tecido.

Fonte: NTC Brasil Materiais para Construção (2016); Neomatex Fibras Têxteis para Engenharia (2016)

2.3.3 Aplicações em drenagem

A função de drenagem consiste na coleta e condução de um fluido em direção ao coletor principal. As principais vantagens da utilização de geossintéticos com função drenante, de acordo com Vertematti (2004) são: a) permitem uma significativa redução na espessura dos sistemas drenantes, em comparação com sistemas convencionais; b) serem produtos uniformes, contínuos e flexíveis, podendo ser aplicados mesmo em superfícies irregulares ou descontínuas; c) são

facilmente manuseados, facilitando a instalação; d) são extremamente leves, em comparação com os agregados naturais, proporcionando menores sobrecargas nas estruturas (fator importante em se tratando de telhados verdes).

Os geossintéticos apresentam elevada capacidade de escoamento, o que, no entanto, pode variar significativamente dependendo das tensões confinantes de compressão a que estiverem sujeitos na obra. A transmissividade ou capacidade de escoamento no plano do geossintético define a capacidade do geossintético de transportar líquidos. Dentre os geossintéticos com capacidade drenante citam-se as geomantas, os geoespaçadores, georredes, geotubos e os geocompostos drenantes, que são a combinação de dois ou mais geossintéticos formando um único produto, geralmente um geossintético com características drenantes a um geotêxtil (Vertematti 2004).

A geomanta (Figura 2.19) é um produto com estrutura tridimensional, fabricada com filamentos de polipropileno. Possui alto índice de vazios, o que proporciona alta permeabilidade. É comercializada em rolos de 1 ou 2 metros de largura, e 10 ou 30 metros de comprimento.



Figura 2.19 – Geomanta.
Fonte: Grupo Ecomasa S. L. (2016)

Os geoespaçadores e as georredes foram desenvolvidos especialmente para atuar como núcleos drenantes na condução de fluidos e, são relativamente pouco compressíveis, diferentemente das geomantas, que apresentam maior deformação quando comprimidas.

Como mencionado anteriormente, dois telhados verdes foram investigados na Carolina do Norte, para os quais, as camadas de drenagem são diferentes. Segundo

Hathaway *et al.* (2008) no telhado de Goldsboro, foi utilizado um modelo de geocomposto formado por uma georrede e um geotêxtil não-tecido (Figura 2.20 - A) e em Kinston foi utilizado um geocomposto formado por um geoespaçador com capacidade de armazenamento de 4 litros por m². (Figura 2.20 - B). Os geoespaçadores podem apresentar-se em diferentes formatos e alturas, com capacidade de armazenamento de água (como o utilizado em Kinston), ou apenas com função drenante (como em Goldsboro).

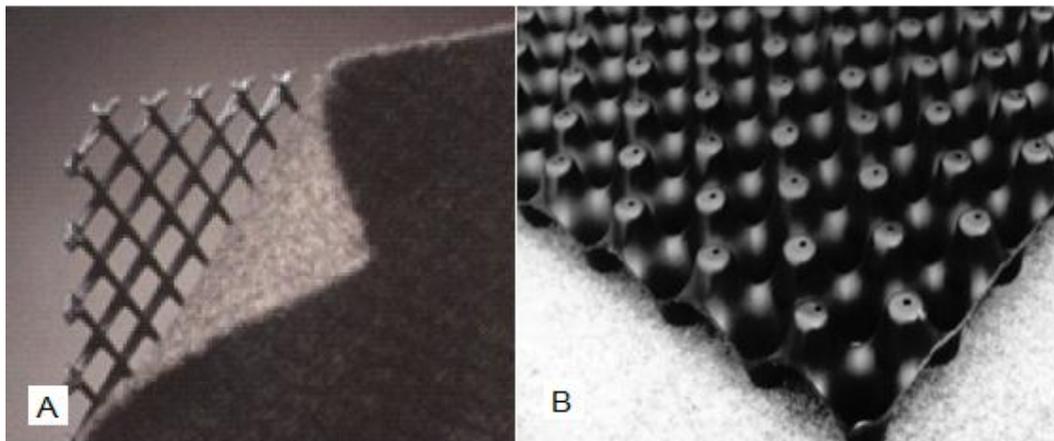


Figura 2.20 - (A) Geocomposto drenante utilizado em Goldsboro; (B) Geoespaçador utilizado em Kinston.

Fonte: Hathaway *et al.* (2008)

Para um projeto de cobertura vegetada em um centro empresarial, Oliveira e Pereira (2015) verificaram a necessidade de encontrar um sistema que apresentasse maior facilidade executiva, eficiência técnica e de baixo impacto ambiental. Optaram pela utilização do sistema de geocomposto drenante, (Figura 2.21). O geocomposto para drenagem é formado por um núcleo drenante fabricado com filamentos de polipropileno (geomanta) e termosoldado a um geotêxtil não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato. Oliveira e Pereira (2015) citam como vantagens sobre o sistema de drenagem tradicional sua elevada capacidade de vazão, leveza, fácil manuseio e instalação, proteção do sistema de impermeabilização contra eventuais danos mecânicos e redução de sobrecarga na estrutura, permitindo maior espessura do solo vegetal, favorecendo o crescimento da vegetação.

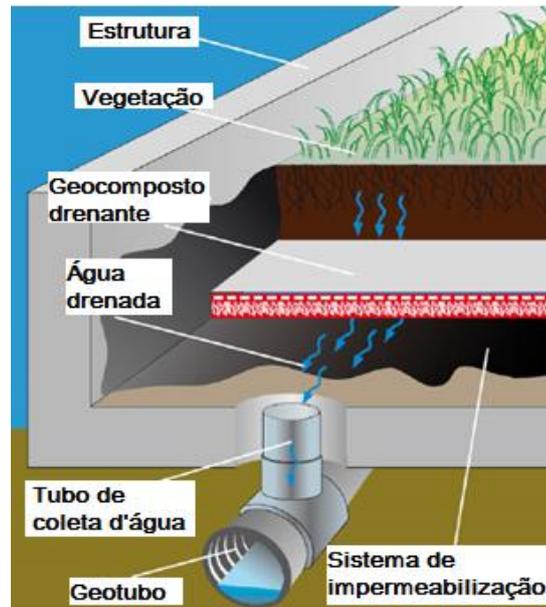


Figura 2.21 - Seção de um telhado verde com geocomposto drenante.
Fonte: Oliveira e Pereira (2015)

Os geotubos, que são tubos-drenos sintéticos, especialmente projetados para a utilização em drenagem que substituem os tubos cerâmicos perfurados, de concreto poroso e de PVC perfurados também podem ser utilizados em coberturas verdes. A Conservation Technology (2008) apresenta um modelo de drenagem granular onde tubos drenos auxiliam na drenagem. A água infiltra nos tubos e segue até o ponto de descarga

2.3.4 Aplicações na estabilização do substrato

De acordo com Minke (2004), a utilização de medidas que evitem o deslizamento do substrato dependerá da inclinação do telhado, da área da superfície inclinada do telhado, da espessura do substrato, da composição do substrato e da vegetação utilizada.

Alguns geossintéticos que vêm sendo utilizados para controle de erosão superficial são colocados sobre terrenos e materiais potencialmente erodíveis, garantindo a integridade das áreas protegidas quanto à dinâmica do processo erosivo. Esses produtos podem ser classificados em materiais temporários e materiais permanentes. Os temporários correspondem aos produtos biodegradáveis,

que proporcionam o controle da erosão e facilitam o desenvolvimento da vegetação. São utilizados em locais onde a vegetação, após a degradação do produto, poderá se manter por si só, promovendo o controle da erosão. Já os permanentes podem ser associados à vegetação ou associados a materiais inertes (brita ou concreto). Tratando-se de telhados verdes, apresentam-se as geomantas, geogrelhas e georredes como alternativas de utilização junto ao substrato, proporcionando uma maior resistência ao deslizamento do mesmo e também proporcionando uma interação das raízes com esses materiais. Outro material geossintético que pode ter resultado positivo em telhados íngremes é a geocélula, que são painéis tridimensionais, formados por um conjunto de células para confinamento de material agregado.

A Conservation Technology (2008) recomenda que quando inclinações do telhado chegarem a 10° devem ser tomadas precauções especiais para evitar o deslizamento do solo. As membranas de impermeabilização e proteção devem ser completamente aderidas à estrutura do telhado subjacente. O manual apresenta diferentes dispositivos para contenção do substrato como: os T antiderrapante (“anti-slip tees”), o grampo antiderrapante (“anti-slip cleats”) e a tela antiderrapante (“anti-slip mesh”). Os dois últimos podem ser utilizados juntos (Figura 2.22) ou separadamente.

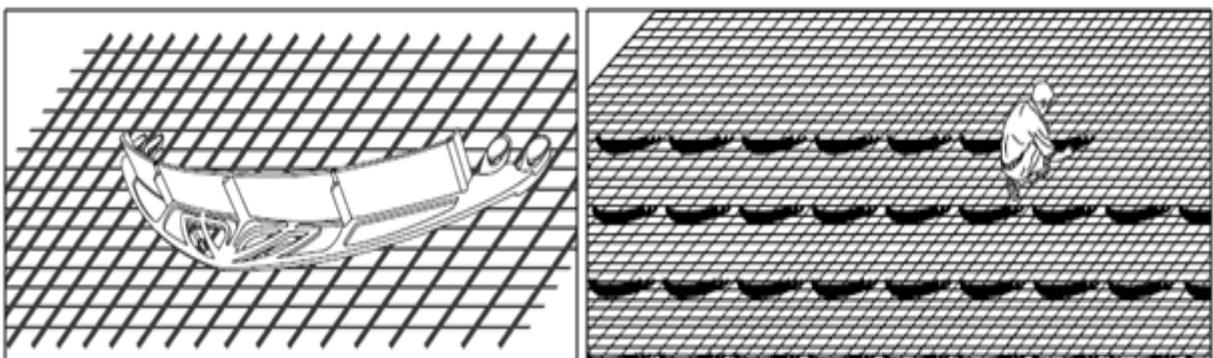


Figura 2.22 - Grampos antiderrapantes aplicados sobre tela, antes da aplicação do substrato.

Fonte: Conservation Technology (2008)

A altitude média de Natal é de 30,9 m. A temperatura do ar é relativamente elevada e bem mais uniforme do que em outras localidades brasileiras, com média diária de 24,4°C. A amplitude térmica média é de 8,4°C, com oscilação média diária entre 21,8°C e 30,2°C. A elevada umidade relativa do ar na cidade marítima de Natal é muito homogênea e estável, com média anual de 79,3%. A cidade de Natal é caracterizada por apresentar um elevado nível de heterogeneidade temporal e espacial de seu regime pluviométrico, em virtude da ocorrência de anos com excesso de chuvas, em contraste com períodos anuais que apresentam grande escassez de precipitações. A estação das chuvas estende-se de fevereiro a agosto, com totais mensais médios acima de 110 mm. Enquanto os meses mais secos estendem-se de outubro a dezembro, com totais mensais médios abaixo de 40mm (Medeiros, 2001) apud (Rocha e Studart, 2014).

3.2 DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS

Os módulos foram construídos em madeira de pinus (madeira de reflorestamento), com a estrutura aparafusada. Uma base de 110 cm x 130 cm foi fixada sobre quatro pés de 1 metro de altura. Um beiral de 8 cm foi colocado em todo perímetro da base. A base, que simula uma laje, foi feita de tábuas de 25,4 mm, justapostas. Optou-se por fazer a base do módulo com uma das extremidades móveis, utilizando-se dobradiças, o que possibilitou simulações com telhados planos e íngremes (Figura 3.2).



Figure 3.2 – Detalhe para possibilidade do módulo de simular coberturas íngremes e planas.

3.2.1 Módulo de Controle (MC)

O Módulo de Controle (MC) é composto apenas da impermeabilização, para qual se utilizou uma geomembrana do tipo EPDM. A geomembrana é flexível o que permite as dobras para revestir os beirais e foi entregue em tamanho suficiente para que não fossem necessárias emendas. O sistema de drenagem feito a partir de uma válvula utilizada em lavatórios (Figura 3.3) instalada na parte inferior da caída do módulo. A fixação da geomembrana se deu através de ripas (2 cm x 2 cm) que foram aparafusadas por todo o perímetro na parte externa do beiral. O objetivo deste módulo foi representar um telhado comum, submetido ao mesmo processo de simulação de chuva dos módulos vegetados, a fim de obter-se uma comparação de resultados.



Figura 3.3 - Instalação da geomembrana e válvula de drenagem.

O Módulo de Controle também foi útil na calibração do simulador de chuvas, em que as comparações entre o volume escoado do módulo e a média dos valores registrado nos pluviômetros possibilitaram a confirmação de que a média dos valores lidos nos pluviômetros era compatível com o volume escoado pelo módulo. Após algumas simulações o Módulo de Controle recebeu outros componentes e passou a ser denominado Módulo Vegetado Geomanta, que será detalhado adiante.

Na Figura 3.4 pode-se ver o MC durante uma simulação de chuva em fase de calibração.

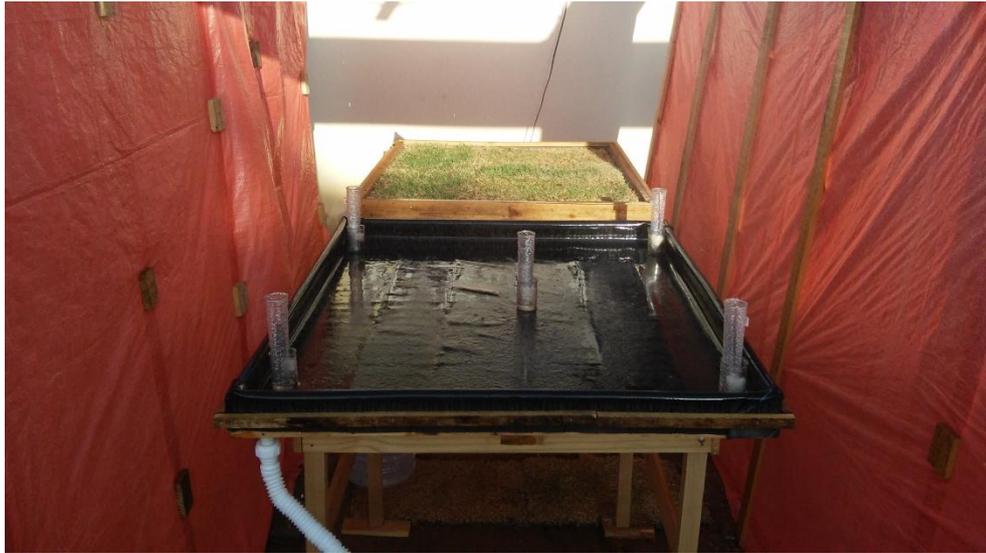


Figura 3.4 - Módulo de controle durante simulação.

3.2.2 Módulo Vegetado Geotêxtil (MVGT)

O Módulo Vegetado Geotêxtil (MVGT) recebeu um geotêxtil como camada drenante e por isso foi chamado de MVGT, (“GT” abreviatura de geotêxtil). Este módulo recebeu a mesma barreira impermeabilizante de MC, em geomembrana EPDM, e sobre ela um geotêxtil não-tecido com a finalidade de proteger a impermeabilização e auxiliar na drenagem. Acima do geotêxtil uma camada de 4 cm de substrato e a vegetação completam sua composição, detalhada na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Composição do Módulo Vegetado Geotêxtil (MVGT).

Esse modelo assemelha-se com um modelo proposto Minke (2004) e possivelmente é um dos tipos mais simples de composição de telhados verdes. Na parte inferior, onde se situa o dreno de captação da água escoada, foi utilizado uma

faixa de areia grossa com a mesma espessura do substrato (4 cm) e com 5 cm de largura para melhorar a drenagem. Na Figura 3.6, observa-se etapas da construção do MVGT.



Figure 3.6 - Sequência construtiva do Módulo Vegetado Geotêxtil: A) fixação do geotêxtil sobre a geomembrana; B) detalhe para a barreira drenante; C) colocação do adubo orgânico; D) plantação da vegetação.

3.2.3 Módulo Vegetado Geomanta (MVGA)

No Módulo Vegetado Geomanta (MVGA) se utiliza uma geomanta como camada drenante e por isso é chamado de MVGA, (“GA” abreviatura de geomanta). Sua composição é mostrada na Figura 3.7. Sobre a camada de impermeabilização em EPDM, um geocomposto drenante foi instalado com o geotêxtil inferior, com função de proteção da impermeabilização (Figura 3.8 - A). Sobre o geocomposto drenante foi instalado um geotêxtil não tecido com função de filtro, (Figura 3.8 - B).

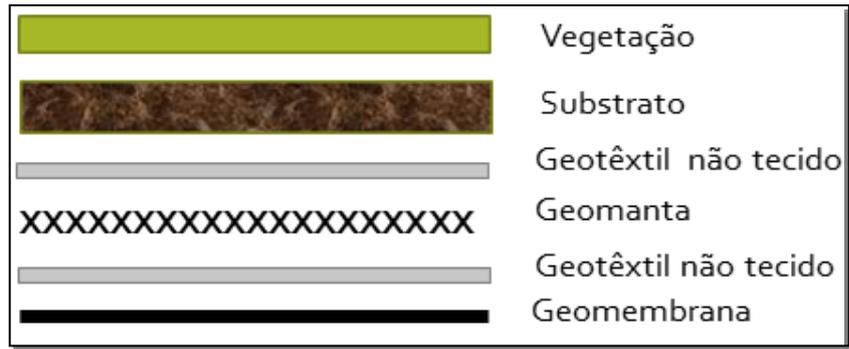


Figura 3.3 - Composição MVGA.



Figura 3.8 – Etapas da construção do Módulo Vegetado Geomanta (MVGA): A) Instalação do geocomposto drenante sobre a geomembrana. B) Instalação do geotêxtil sobre o geocomposto drenante.



Figure 3.9 - Detalhe da faixa drenante em brita utilizada no MGA, e da fixação do geotêxtil com ripas de madeira.

Acima do geotêxtil uma camada de 4 cm de substrato e a vegetação completam o MVGA. Assim como no MVGT, utilizou-se uma faixa de material drenante na parte inferior da caída do telhado, sendo que para este módulo optou-se pela utilização de um material com maior capacidade drenante que a areia, empregando-se, portanto, brita. Na Figura 3.9, pode-se ver a faixa drenante, feita de brita e envolta por um geotêxtil, para que o substrato não se misture a ela.

3.2.4 Módulo Geotêxtil + Geomanta (MGG)

O Módulo Geotêxtil + Geomanta (MGG) refere-se ao MVGA sem o substrato e a vegetação. Antes de espalhar o substrato e plantar a vegetação foram feitas simulações, a fim de verificar-se o comportamento da camada drenante (geocomposto drenante + geotêxtil) quanto à retenção de água. Essa composição será chamada de MGG, devido à presença da geomanta e do geotêxtil.

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DOS MÓDULOS

Todos os componentes utilizados em cada um dos dois módulos vegetados (MVGT e MVGA) foram pesados e os valores são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Peso dos elementos utilizados nos módulos MVGT e MVGA.

Elemento	Quantidade (Kg)	
	MVGT	MVGA
Geomembrana	2,6	2,6
Geotêxtil	0,27	0,27
Geocomposto drenante	--	0,78
Solo	60	60
Adubo	3,7	3,7
Areia	4,7	--
Brita	--	3,5
Placas de grama	50	48
Total	121,27	118,85

Sabendo-se que o módulo possui uma área de 1,43 m², pode-se dizer que a carga aplicada sobre estrutura que compõem os módulos MVGT e MVGA é de aproximadamente 84,8 kg/m² e 83,1 kg/m², respectivamente. A seguir, apresenta-se a descrição dos elementos utilizados em cada camada de cada um dos módulos vegetados: os materiais geossintéticos (geomembrana, geotêxtil não-tecido e geocomposto drenante), o substrato (ensaios de caracterização do solo) e a vegetação.

3.3.1 Geomembrana EPDM

A geomembrana utilizada foi do tipo EPDM de 1,1 mm de espessura, reforçada com fibras de poliéster com densidade de 1,2 g/cm³. Foi entregue em dimensão suficiente para os módulos, portanto não foram necessárias emendas. Esse tipo de geomembrana apresenta elevada resistência mecânica e boa flexibilidade, o que a torna um modelo adequado para coberturas verdes (Figura 3.10 – A).

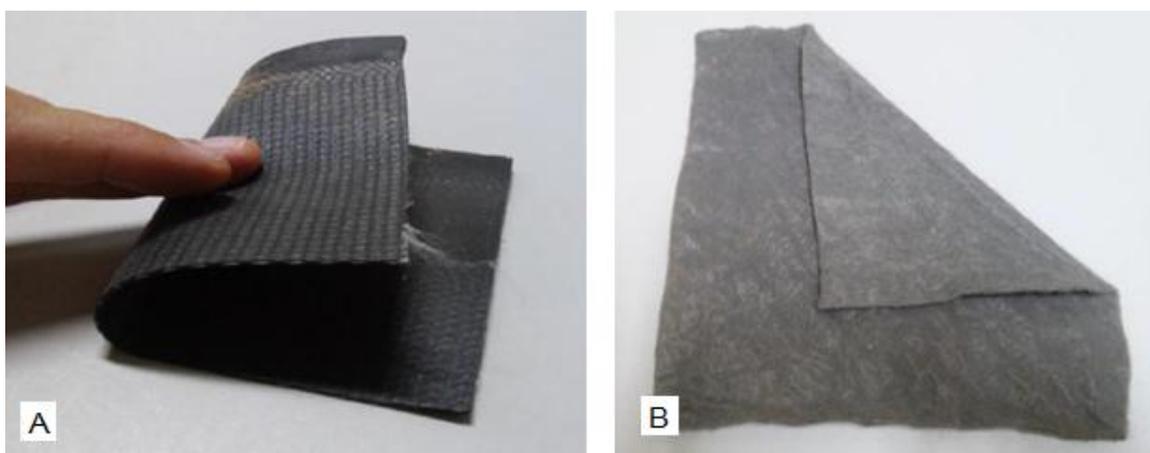


Figura 3.10 – A) Amostra da geomembrana utilizada; B) Amostra do geotêxtil não-tecido utilizado nos módulos.

3.3.2 Geotêxtil não-tecido

O geotêxtil não-tecido utilizado nos módulos é feito em poliéster (100%), composto por filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente, os quais são interligados por processos mecânicos (chamados agulhados), com gramatura de 200 g/m². É mostrado na Figura 3.10 - B.

3.3.3 Geocomposto drenante

O geocomposto drenante utilizado no MVGA foi o MacDrain 1L 20.2 (Figura 3.11). É um material leve e flexível, com núcleo drenante formado por uma geomanta tridimensional, fabricada com filamentos de polipropileno e termosoldada a um geotêxtil não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato (Maccaferri, 2008). Este geocomposto apresenta elevado índice de vazios, o que proporciona uma excelente capacidade drenante mesmo tendo uma pequena espessura (12 mm). O geocomposto drenante (geomanta + geotêxtil) tem sido uma opção muito utilizada em telhados verdes.



Figura 3.11 - Geocomposto drenante utilizado na pesquisa, formado por um geotêxtil não-tecido e uma geomanta.

A tabela 3.2 apresenta as propriedades físicas (espessura e gramatura), tanto do geocomposto quanto apenas do geotêxtil. Observa-se que um metro quadrado de camada drenante corresponde a apenas 550 gramas.

Tabela 3.2 - Características físicas do geocomposto drenante.

Características físicas			Geocomposto	Geotêxtil
Espessura	mm	ABNT NBR 12569 ASTM D 5199	12,0	0,7
Gramatura	g/m ²	ABNT NBR 12568 ASTM D 5261	550	100

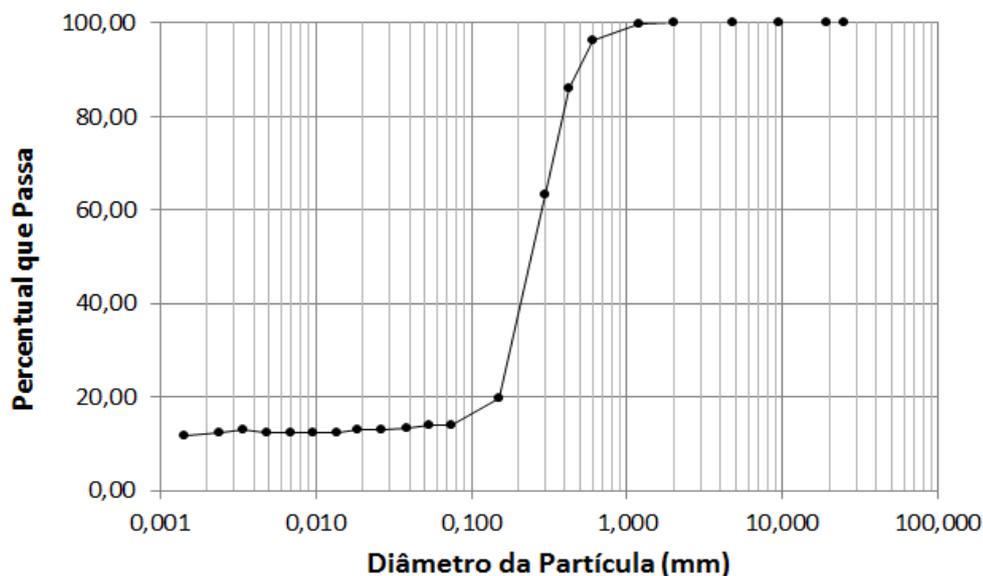
Fonte: Maccaferri (2008)

3.3.4 Substrato

O substrato escolhido para utilização nos módulos é comumente utilizado para o cultivo de gramas e é encontrado na maioria das floriculturas. Trata-se de um solo granular de cor avermelhada. Como forma de conhecer melhor as características desse solo, foram feitos ensaios de caracterização.

3.3.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi obtida a partir do ensaio de granulometria conjunta que é prescrito pela NBR 7181/84 e consiste, em geral de duas fases: o peneiramento e a sedimentação. Na Figura 3.12, mostra-se a curva granulométrica do solo utilizado como substrato nos módulos de telhado verde.



De acordo com os resultados, se trata de um solo granular, com um percentual de aproximadamente 14% de finos (argila e silte), destes, 12% com diâmetro inferior a 0,002 mm (fração argilosa). Os valores obtidos indicam que a amostra de solo possui cerca de 50% de areia fina, 33% de areia média e 3% de areia grossa, o que caracteriza uma areia predominantemente fina. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação pode ser considerado um solo arenoso siltoso, representado pelas letras SM.

3.3.4.2 Limites de consistência

Para os solos em cuja textura haja certa porcentagem de finos, não basta apenas a granulometria para caracterizá-los, pois suas propriedades plásticas dependem do teor de umidade, além da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica. O índice de plasticidade que é a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade define o quanto plástico é o solo. Os ensaios, tanto do limite de liquidez, quanto do limite de plasticidade, comprovaram que o solo não apresenta plasticidade, trata-se de um solo não plástico.

3.3.4.3 Massa específica dos sólidos

A massa específica dos sólidos é relação entre o peso das partículas sólidas e seu volume. O ensaio para determinação da massa específica dos grãos de solo é prescrito pela NBR 6508/84, e baseia-se no método do picnômetro. O valor encontrado para a massa específica dos sólidos do solo foi de 2,61 g/cm³.

3.3.4.4 Permeabilidade

É a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo expressa numericamente pelo coeficiente de permeabilidade. O ensaio de permeabilidade foi feito sob carga constante. Para manter as condições

reais que o solo foi submetido na pesquisa, não foi executada compactação do mesmo, sendo assim a amostra ocupou todo o diâmetro do permeâmetro, posicionada entre duas faixas drenantes nas extremidades superior e inferior. O valor encontrado para o coeficiente de permeabilidade (k_{20°) foi de $9,4 \times 10^{-3}$ cm/s. De acordo com intervalos de variação do coeficiente de permeabilidade para diferentes tipos de solos proposto por Caputo (1977), o valor encontrado está dentro do intervalo de coeficientes característico para areias (10^{-1} cm/s a 10^{-3} cm/s).

3.3.5 Vegetação

A vegetação utilizada foi a *Zoysia japônica*, da família Poaceae, é uma espécie de grama popularmente conhecida como Grama Esmeralda. Ela deve ser cultivada a pleno sol, com adubações semestrais e regas regulares. Não é indicada para locais de tráfego intenso, nem para áreas sombreadas. Resolveu-se por utilizar a grama esmeralda, pois ela é encontrada com facilidade no comércio local, tem baixo custo e possui facilidade de cultivo.

3.4 SIMULADOR DE CHUVAS

Como as chuvas se tornam escassas em determinadas épocas do ano no Rio Grande do Norte, o simulador de chuvas foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. O simulador de chuvas foi construído tendo-se como base o trabalho realizado por Furegatti (2012), no qual foi desenvolvido um simulador para análise de processos erosivos. Ela afirma que as principais variáveis envolvidas na definição da quantidade de chuva gerada por um simulador são o modelo do bico dispersor, a altura que fica o bico em relação ao terreno e a vazão da bomba.

Segundo Ribeiro *et al.* (2000), vários tipos de simuladores têm sido propostos, em variados tamanhos, pressurizados ou não e, alguns, totalmente automatizados. Os simuladores de grande porte requerem enorme aparato e conseqüentemente um grande recurso financeiro, mão-de-obra e algumas complicações quanto ao seu abastecimento de água e transporte, o que os torna pouco práticos. Para esta

pesquisa, a intenção foi de montar um simulador de baixo custo e que pudesse ser desmontado e guardado após cada simulação.

3.4.1 Desenvolvimento do simulador de chuvas

Projetou-se um sistema simples, composto basicamente de um reservatório, uma bomba e os aspersores. Inicialmente buscou-se um bico aspersor. Dentre algumas soluções, a que se mostrou mais adequada foi a utilização de microaspersores modelo MA-50 fabricados pela Agrojé. De acordo com o fabricante os microaspersores atuam com pressão entre 10 mca e 30 mca, com vazão variando entre 44 e 58 litros por hora. Na Figura 3.13 apresenta-se o microaspersor utilizado.



Figura 3.13 - Microaspersor utilizado na pesquisa.

Com posse dos aspersores, adquiriu-se a bomba centrífuga, as mangueiras, o registro, as conexões hidráulicas e as peças elétricas. Como reservatório utilizou-se um recipiente plástico, com capacidade para 200 L. A primeira configuração do simulador não permitia regular a vazão de água nos aspersores, que com a bomba de 0,5 cv, forçava extremamente o conjunto bomba (mangueiras – aspersores), mesmo com a utilização de 12 microaspersores espalhados em uma tubulação retangular de 40 cm x 30 cm como se pode ver na Figura 3.14.

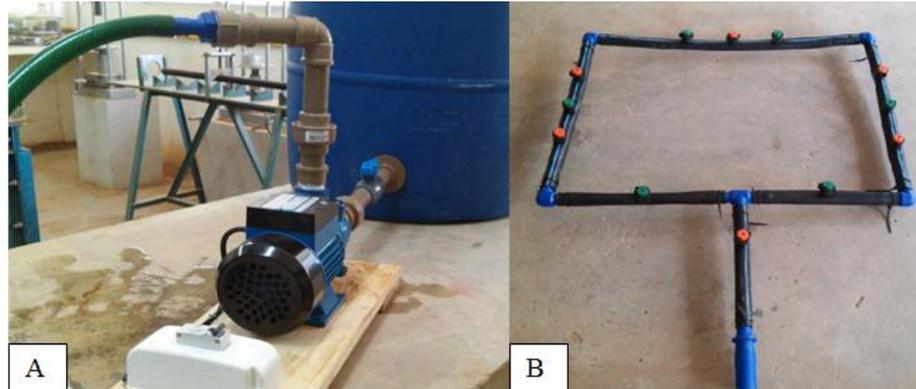


Figura 3.14 - Configuração inicial do simulador de chuvas.

Como forma de solucionar o problema, optou-se por instalar na saída da bomba uma conexão hidráulica em T, tendo-se assim duas saídas, uma delas alimentando os aspersores e a outra ligada a um registro retornando ao reservatório. Através deste registro foi possível controlar intensidade do simulador, que quanto mais fechado maior a vazão nos aspersores. O esquema final utilizado é mostrado na Figura 3.15.

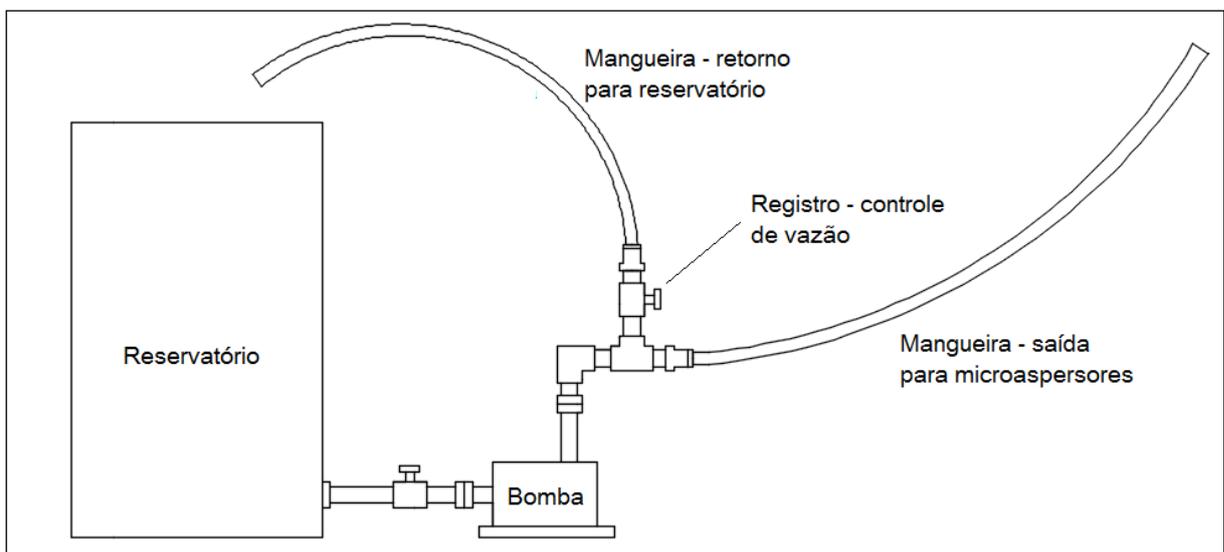


Figura 3.15 – Esquema da configuração final do simulador de chuvas.

Neste momento tinha-se um bom funcionamento do sistema, mas constatou-se um novo problema: a má distribuição da chuva. Devido à quantidade e ao posicionamento dos microaspersores, a chuva era mais concentrada no centro do que nas extremidades da área dos módulos. Passou-se então a fazer testes

variando-se a quantidade de microaspersores e o distanciamento entre eles. Após verificar-se o diâmetro de abrangência de um microaspersor, montou-se uma configuração com quatro microaspersores em uma tubulação retangular de 1 m x 1 m, de modo que se obteve uma precipitação o mais uniforme possível, o esquema é mostrado na Figura 3.16. Na Figura 3.17 se pode ver a realização do teste em que se conseguiu a melhor uniformidade, com detalhe para a distribuição dos pluviômetros que estão posicionados de acordo com o tamanho do módulo.

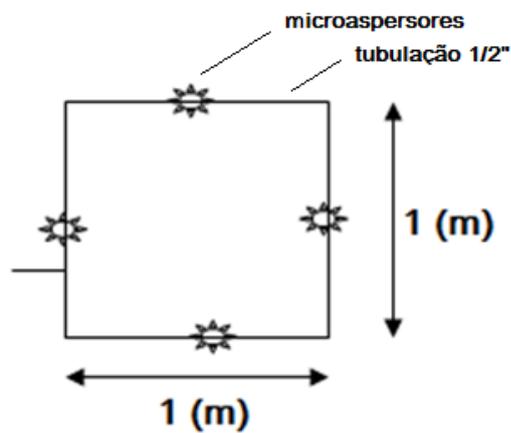


Figura 3.16 - Esquema da distribuição dos microaspersores.



Figura 3.17 - Teste de uniformidade do simulador de chuvas: (A) detalhe para o ambiente fechado (sem influência de vento); (B) posicionamento dos pluviômetros.

Na Tabela 3.3 apresenta-se uma relação com os materiais utilizados na construção do simulador de chuvas.

Tabela 3.3 - Relação dos materiais utilizados na construção do simulador de chuvas.

Qtde	Und.	Peça
1	pç	Motobomba centrífuga 1/2 CV de potência, tubulação de sucção e recalque DN 32
10	m	Mangueira DN 32 pvc trançada
4,5	m	Mangueira preta 1/2 " (utilizada para sistemas de irrigação)
4	pç	Microaspersores modelo CA 50 Injet
2	pç	Registros de esfera DN 32
1	pç	Reservatório plástico 200 litros
1	pç	Flange DN 32
2	pç	Adaptador 1"x32
1	m	Tubo pvc água DN 32
2	pç	União DN 32
1	pç	Joelho DN 32
2	pç	Adaptador para mangueira DN 32
1	pç	Te DN 32
2	pç	Luva mista 1"x32
1	pç	Disjuntor 15 Amperes
2	m	Fio flexível 2,5 mm
1	pç	Pino macho
2	pç	Abraçadeiras 1"

3.4.2 Calibração do simulador de chuvas

Para calibração do simulador de chuvas, foram feitas diversas utilizações sobre o Módulo de Controle (MC), nas quais registrou-se o volume escoado e a precipitação média calculada por meio de cinco pluviômetros. Multiplicando-se a precipitação média pela área do módulo, obteve-se o volume de água que caiu sobre o módulo. Esse volume correspondente aos pluviômetros foi comparado ao volume de água escoada pelo módulo. O objetivo foi analisar se o valor obtido nos pluviômetros foi coerente ao valor de água escoada pelo módulo. Nas Tabelas 3.4 e 3.5 são apresentados resultados de dois testes representativos de 30 minutos de simulação de chuva. Pode-se concluir através dos resultados apresentados abaixo, que os valores de intensidade da chuva tendo-se como referência os pluviômetros, apresentaram valores próximos dos encontrados tendo-se como referência a água escoada pelo módulo (módulo serve como um grande pluviômetro). Essa variação deve-se a uma parcela de água retida nos poros da impermeabilização, parcela

evaporada e outra parcela ainda, referente a possíveis falhas na uniformidade da chuva obtida com os microaspersores.

Tabela 3.4 - Calibração simulador de chuvas - teste representativo 1.

Nº Pluviômetro	Precip. (mm)
1	18
2	15
3	48
4	40
5	21
Média	28,4

Volume Total de acordo com os pluviômetros (L):	40,61
Intensidade da precipitação (pluviômetros) (mm/h):	56,80
Volume Total Escoado (L):	40,05
Intensidade da precipitação (escoado) (mm/h):	56,01

Tabela 3.5 - Calibração simulador de chuvas - teste representativo 2

Nº Pluviômetro	Precip. (mm)
1	20
2	11
3	40
4	42
5	19
Média	26,4

Volume Total de acordo com os pluviômetros (L):	37,75
Intensidade da precipitação (pluviômetros) (mm/h):	52,80
Volume Total Escoado (L):	37,10
Intensidade da precipitação (escoado) (mm/h):	51,89

3.5 PREPARO DO LOCAL PARA REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Com o simulador pronto e calibrado a próximo passo foi decidir onde instalar os módulos, que devido ao peso deveriam ficar em local definitivo. Este local deveria ser descoberto, mas ao mesmo tempo protegido do vento e ainda possibilitar a

instalação do simulador de chuvas. Decidiu-se então por posicionar os módulos na lateral externa do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFRN. O local possibilitou a utilização de duas vigas de concreto como suporte para os aspersores e para apoio de uma barreira contra o vento. A cobertura contra o vento foi feita com sarrafos de madeira de pinus e uma lona. Na Figura 3.18 se pode ver o local onde foram instalados os módulos e na Figura 3.19 o local de instalação dos aspersores.



Figura 3.18 - Local de instalação dos módulos: (A) antes da construção do tapume contra o vento; (B) após a construção do tapume contra o vento.



Figura 3.19 – Local de instalação dos microaspersores.

3.6 PARÂMETROS ANALISADOS

Os parâmetros medidos e analisados baseiam-se em medições do tempo e intensidade da precipitação, nos valores referentes a capacidade de retenção de

água e por fim na análise do desempenho construtivo de cada módulo, voltado ao atendimento ou não da função atribuída a cada elemento. As simulações foram feitas sempre após um mínimo de três dias sem chuva, sendo assim, conseguiu-se uma maior uniformidade nos eventos, pois é sabido que eventos de chuva antecedentes afetam a capacidade de retenção de água dos telhados verdes.

3.6.1 Medições da precipitação

Foram feitas simulações de chuva de 20 e 30 minutos, para os módulos com inclinação de 2% (chamado plano) e 20% (chamado inclinado). Para a medição do volume precipitado, utilizou-se 5 pluviômetros sobre o módulo em análise, obtendo-se a média como o valor precipitado. Mesmo o simulador de chuvas estando sempre na mesma calibração, a intensidade da precipitação simulada apresentou variações, decorrentes principalmente do vento. Na Figura 3.20 observa-se a distribuição dos pluviômetros sobre os módulos durante as simulações.



Figura 3.20 - Distribuição dos pluviômetros no momento da simulação.

3.6.2 Capacidade de retenção de água

A água resultante do escoamento dos módulos foi conduzida através do tubo de captação para um reservatório. Uma balança, com precisão de 20 g, forneceu a

quantidade de água no reservatório em cada instante. Na Figura 3.21 observa-se o sistema de captação e medição da água escoada. Na Figura 3.22 apresenta-se a cabine de leitura, onde a cada minuto registrou-se a massa de água no reservatório. Adotou-se o como peso específico da água 10 KN/m^3 . Portanto cada 100 g de água equivalem a 0,1 litro ou 100 mililitros de água.



Figura 3.21 - Sistema de captação e medição do volume escoado.

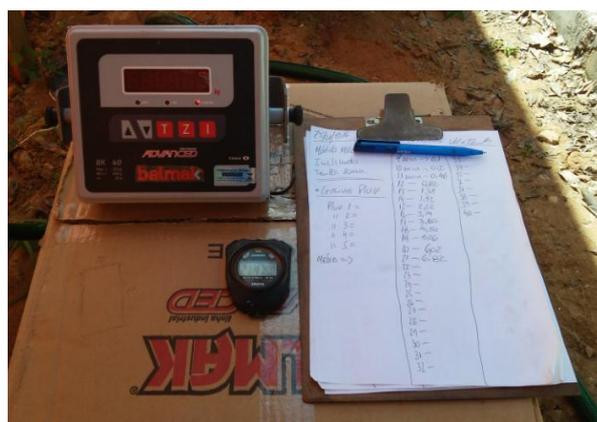


Figura 3.22 - Cabine de leituras do volume escoado em cada instante

Na Tabela 3.7 apresentam-se as simulações de chuva realizadas. Para os módulos MC, MVGT e MVGA foram feitas simulações de 20 e 30 minutos com os

módulos planos e inclinados (inclinação de 20%). Para o MGG foram feitas apenas simulações de 30 minutos com o módulo plano e inclinado.

Tabela 3.6 - Simulações realizadas

Descrição	MC	MVGT	MVGA	MGG
20 min / plano	x	x	x	
20 min / inclinado	x	x	x	
30 min / plano	x	x	x	x
30 min / inclinado	x	x	x	x

4. RESULTADOS

Nos Apêndices A, B, C e D, encontram-se as planilhas contendo detalhes das simulações, como as leituras da quantidade de água escoada a cada minuto, do início até cessar o escoamento e os valores de chuva, obtidos em cada um dos cinco pluviômetros espalhados sobre o módulo. A partir dos valores obtidos nos cinco pluviômetros, estima-se a Média (Eq. 4.1) e a Intensidade da precipitação (Eq. 4.2 e Eq. 4.3). Multiplicando-se a Média em milímetros pela área do módulo (1,43 m²), encontra-se o Volume Total (VT) de chuva que caiu sobre o módulo em litros, (Eq. 4.4). Por fim, subtraindo-se do Volume Total de chuva que caiu sobre o módulo o Volume Escoado (VE), encontra-se o Volume Retido (VR) pela cobertura verde (Eq. 4.5).

$$\text{- Média (mm)} = (\text{pluv. 1} + \text{pluv. 2} + \text{pluv. 3} + \text{pluv. 4} + \text{pluv. 5}) / 5 \quad (4.1)$$

$$\text{- Intensidade (mm/h)} = \text{Média} \times 2 \text{ (simulação de 30 minutos)} \quad (4.2)$$

$$\text{- Intensidade (mm/h)} = \text{Média} \times 3 \text{ (simulação de 20 minutos)} \quad (4.3)$$

$$\text{- VT (L)} = \text{Média} \times 1,43 \quad (4.4)$$

$$\text{- VR (L)} = \text{VT} - \text{VE} \quad (4.5)$$

4.1 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Neste Item serão apresentados os resultados obtidos nas simulações quanto à capacidade de retenção de água, para simulações de 20 minutos e 30 minutos para módulos planos e inclinados. De modo geral observou-se uma boa capacidade de retenção de água, assim como um atraso no início de escoamento para os dois módulos vegetados (MVGT e MVGA).

4.1.1 Simulações de 20 minutos

São fornecidas no Apêndice A e Apêndice B (páginas 84 e 87), as planilhas referentes às simulações de 20 minutos. Nelas são fornecidos os valores de intensidade da chuva e quantidade escoada em cada minuto.

Na Tabela 4.1 são mostrados os resultados das simulações de 20 minutos para os módulos MC, MVGA e MVGT, para inclinações de 2% (considerados planos) e 20% (considerados inclinados), nos quais se observa uma variação nos valores de precipitação, que vai de 14 mm (MVGA inclinado) e 21,8 mm (MVGT plano). As diferenças registradas nas intensidades de chuva se dão provavelmente devido o vento.

Tabela 4.1 - Valores de precipitação e escoamento para 20 minutos de simulação em módulos planos e inclinados.

Valores de precipitação e escoamento	Módulos Planos			Módulos Inclinados		
	MC	MVGA	MVGT	MC	MVGA	MVGT
Média (mm):	21,20	14,00	21,80	20,00	14,60	17,80
Intensidade da precipitação (mm/h):	63,60	42,00	65,40	60,00	43,80	53,40
Volume total (L):	30,32	20,02	31,17	28,60	20,88	25,45
Volume escoado (L):	27,66	7,04	2,06	26,66	11,04	3,44
Volume retido (L):	2,66	12,98	29,11	1,94	9,84	22,01
Porcentagem retida (%):	8,8	64,9	93,4	6,8	47,1	86,5

* MC – Módulo de Controle; MVGA – Módulo Geomanta; MVGT – Módulo Geotêxtil.

De acordo com os valores apresentados na Figura 4.1, os módulos planos apresentaram porcentagem de retenção maior que os módulos inclinados em todos os casos, comprovando que a inclinação, mesmo que de 20%, influencia na capacidade de retenção da cobertura verde. A maior diferença foi registrada para o MVGA plano que apresentou uma retenção de 64,9%, contra 47,1% quando inclinado. Notou-se também uma variação significativa entre porcentagem de retenção de MVGT e MVGA. Em MVGT plano, foi registrado 93,4% de retenção, contra 64,9% no MVGA. A menor capacidade de retenção observada em MVGA se

deve principalmente à camada drenante, para a qual se utilizou o geocomposto drenante formado por uma geomanta e um geotêxtil não tecido.

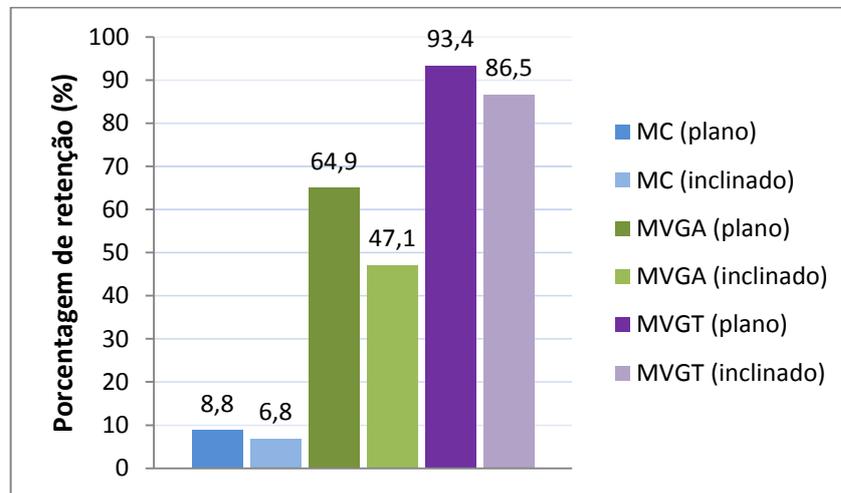


Figura 4.1 - Porcentagem de retenção de água para simulações de 20 minutos para módulos planos e inclinados.

Nas Figura 4.2 e Figura 4.3 mostram-se os hidrogramas para módulos planos e inclinados, respectivamente. Nelas é possível verificar a variação da vazão de escoamento com o passar do tempo. Observa-se que para MC o escoamento tem início já no primeiro minuto, com a vazão mantendo-se entre 1,2 l/min e 1,6 l/min (litros por minuto), e observa-se que o escoamento cessa logo após o fim da precipitação. Para os módulos vegetados a situação é outra, há um atraso no início do escoamento, que é ainda maior nos módulos planos. Com os módulos inclinados o escoamento teve início aos 13 minutos no MVGT e aos 9 minutos no MVGA. Já com os módulos planos, o início de escoamento se deu aos 14 minutos para MVGT e aos 13 minutos para o MVGA. Para os módulos vegetados observou-se ainda, um atraso para o término do escoamento, depois de terminada a simulação a água continuou a escoar com vazões cada vez menores até cessar completamente.

Foi relevante, portanto, a variação registrada na vazão entre MVGT e MVGA. Enquanto para MVGT a vazão não passou de 0,16 l/min, tanto para o plano como para inclinado o MVGA forneceu vazões de até 0,76 l/min. Nota-se, portanto, que a capacidade drenante do MVGA é consideravelmente maior.

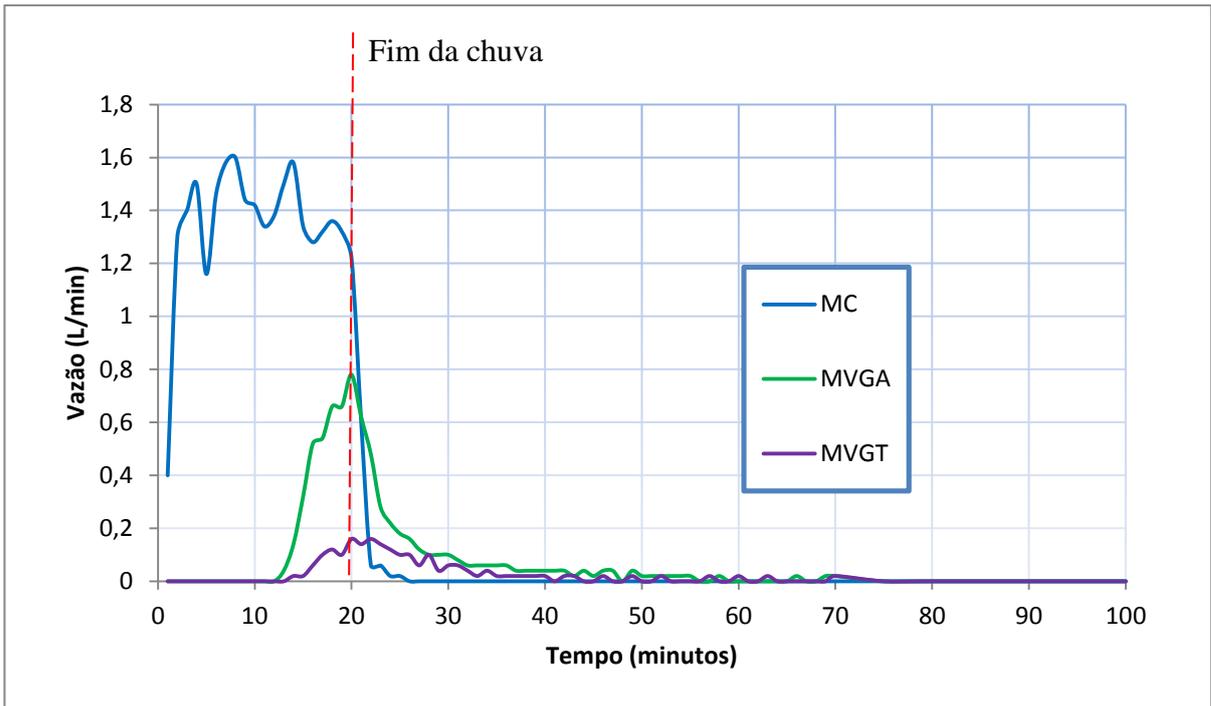


Figura 4.2 - Hidrograma para simulações de 20 minutos em módulos planos

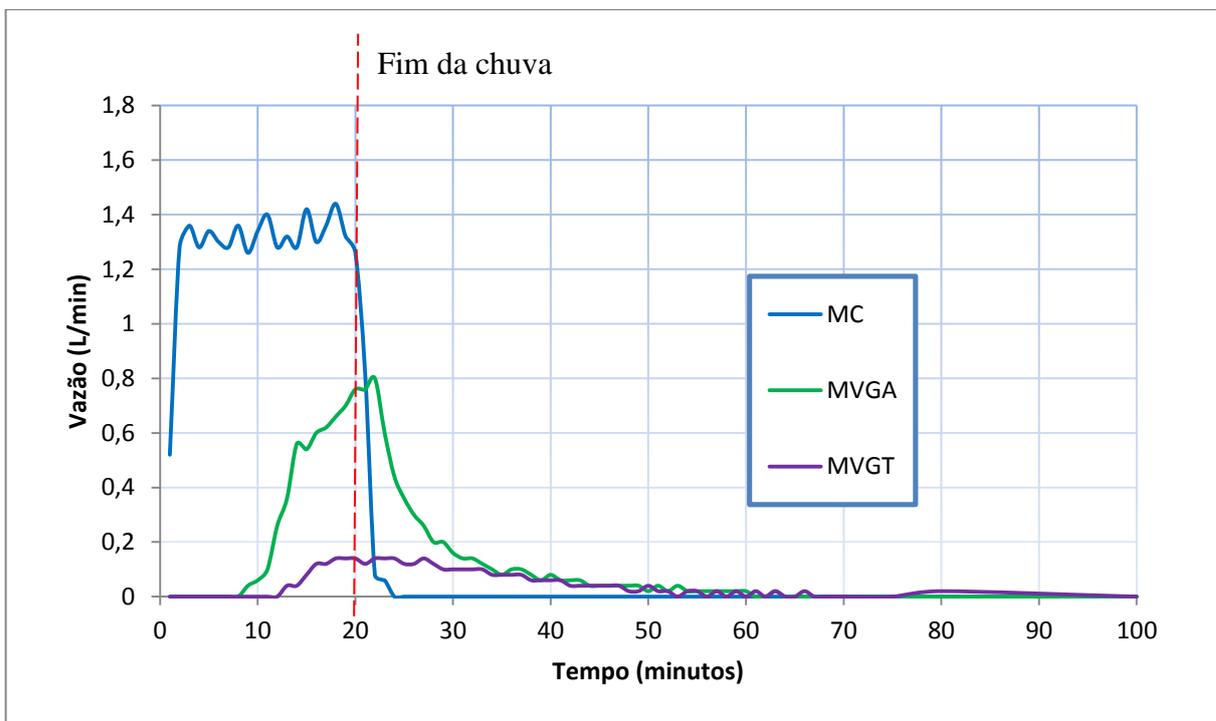


Figura 4.3 - Hidrograma para simulações de 20 minutos em módulos inclinados.

4.1.2 Simulações de 30 minutos

São fornecidas no Apêndice C e Apêndice D (páginas 90 e 93) as planilhas referentes às simulações de 30 minutos. Nelas são fornecidos os valores de intensidade da chuva e quantidade escoada em cada minuto.

Na Tabela 4.2 apresentam-se os valores de precipitação e escoamento para simulações de 30 minutos, em que a boa capacidade de retenção e o atraso no início do escoamento se confirmaram.

Tabela 4.2 - Valores de precipitação e escoamento para 30 minutos de precipitação em módulos planos e inclinados.

Valores de precipitação e escoamento	Módulos Planos				Módulos Inclinados			
	MC	MGG	MVGA	MVGT	MC	MGG	MVGA	MVGT
Média (mm):	19,40	23,60	18,80	22,20	20,20	27,00	27,40	23,80
Intensidade da precipitação (mm/h):	38,80	47,20	37,60	44,40	40,40	54,00	54,80	47,60
Volume total (L):	27,74	33,75	26,88	31,75	28,89	38,61	39,18	34,03
Volume escoado (L):	27,34	29,12	12,64	5,40	27,12	33,72	20,22	3,14
Volume retido (L):	0,40	4,63	14,24	26,35	1,77	4,89	18,96	30,89
Porcentagem retida (%):	1,4	13,7	53,0	83,0	6,1	12,7	48,4	90,8

* MC – Módulo de Controle; MGG – Módulo Geomanta + Geotêxtil; MVGA – Módulo Vegetado Geomanta; MVGT – Módulo Vegetado Geotêxtil.

Observou-se, porém, uma variação maior nos valores de precipitação, principalmente para o MVGA, que quando plano teve uma precipitação média de 18,8 mm, contra 27,4 mm quando inclinado. Mesmo com essa variação, pode-se perceber que a porcentagem de retenção quando plano (53%), apresentou-se maior do que quando inclinado (48%), como já era esperado. Para MVGT as precipitações foram próximas (22,2 mm e 23,8 mm), mas chama a atenção o fato de quando plano o módulo apresentar uma retenção menor que do que quando inclinado. Mesmo

sendo uma diferença razoavelmente pequena, isso pode ser explicado pelo fato de no dia da simulação, a cobertura verde estar mais próxima da saturação, ou seja, havia uma quantidade maior de água retida nos vazios do solo. No dia em que a simulação foi feita (03/02/2016), a estação meteorológica automática de Natal, que tem valores fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), marcava apenas 4,8 mm de chuva no dia 31/01/2016, portanto condições seriam semelhantes as das outras simulações (lembrando que se optou por fazer simulações sempre com um mínimo de 3 dias antecedentes sem chuva). Três possibilidades podem ser levantadas: a primeira é que os módulos tenham sido irrigados por algum funcionário da UFRN; a segunda é que tenha ocorrido chuva apenas na região dos módulos e não na estação meteorológica; por fim que a estação meteorológica tenha falhado em registrar algum evento de chuva entre o dia 31/01 e 03/02. Como nesse dia foram feitas simulações em MVGT plano e MVGA plano é bem possível que os valores de retenção para estes módulos tenham sido afetados pelo ocorrido, sendo assim, os valores de retenção em outra situação, podem ser maiores que o observado.

Na Figura 4.4, mostram-se as taxas de retenção com 30 minutos de simulação e na Tabela 4.3 o minuto em que se registrou o início do escoamento em cada situação.

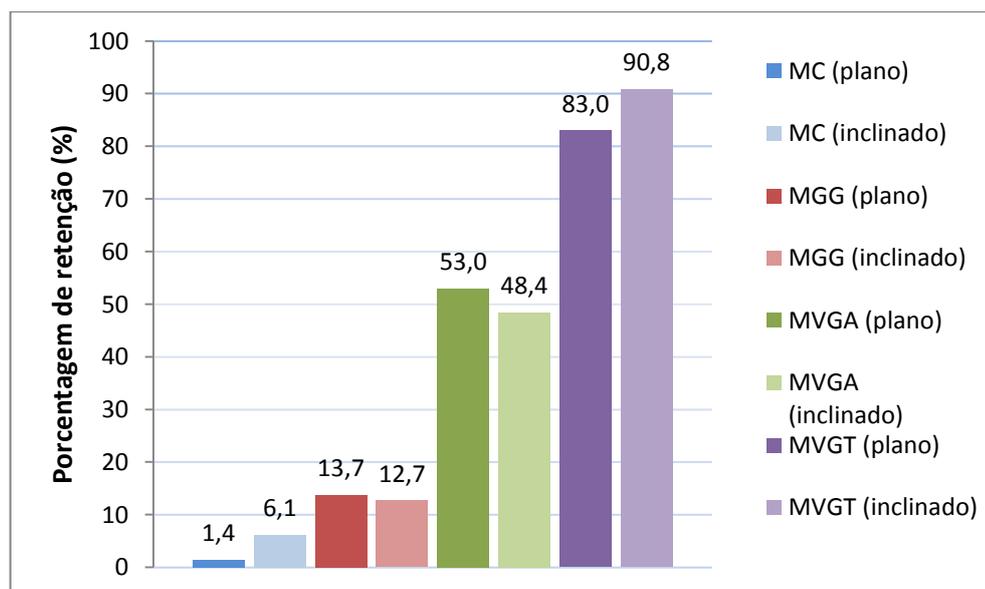


Figura 4.4 - Porcentagem de retenção de água para simulações de 30 minutos com módulos planos e inclinados

Tabela 4.3 - Minuto de início do escoamento para simulações de 30 minutos.

Inclinados				Planos			
MC	MGG	MVGA	MVGT	MC	MGG	MVGA	MVGT
1°	1°	9°	15°	1°	6°	15°	13°

Nos hidrogramas apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6, observa-se que MC tem o escoamento logo no primeiro minuto de simulação e tem a vazão se mantendo na faixa de 1 l/min.

O MGG apresentou um comportamento interessante. Mesmo não contendo vegetação nem substrato, observou-se que a composição reteve cerca de 13,7% da precipitação quando plano e 12,7% quando inclinado. Essa retenção é resultante das camadas de proteção e filtro para as quais utilizou-se geotêxteis. Pode-se ver também, que após saturados não apresentaram redução na vazão, que se manteve superior ao apresentado em MC devido a intensidade de precipitação ter sido maior.

Para MVGA o tempo de início de escoamento e as vazões, foram praticamente iguais aos valores alcançados com as simulações de 20 minutos.

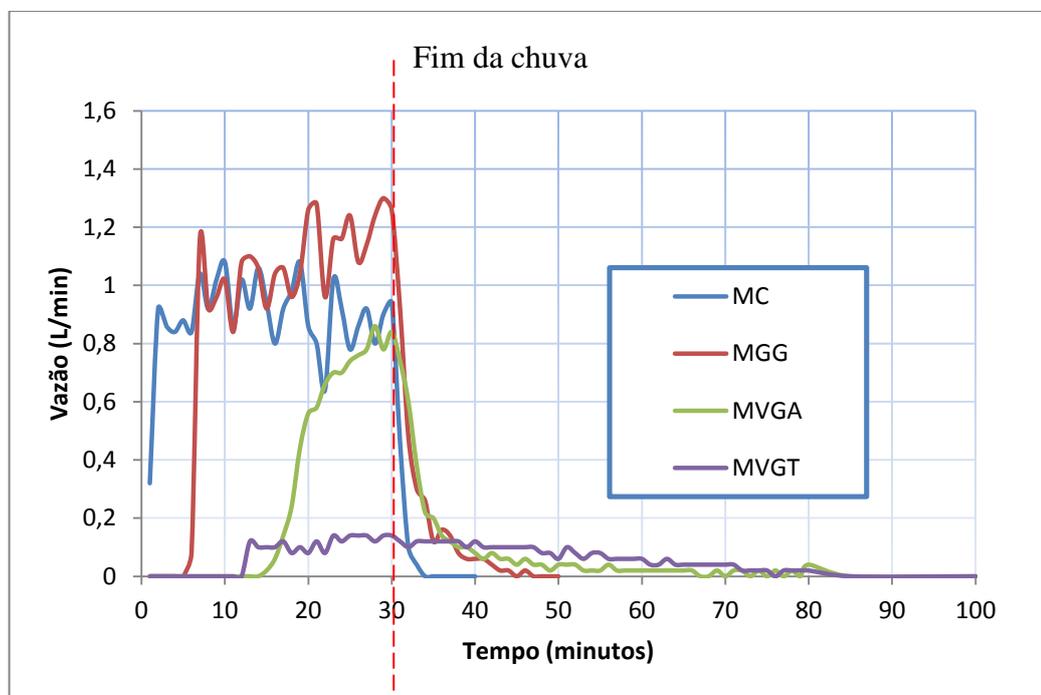


Figura 4.5 - Hidrograma para simulações de 30 minutos em módulos planos.

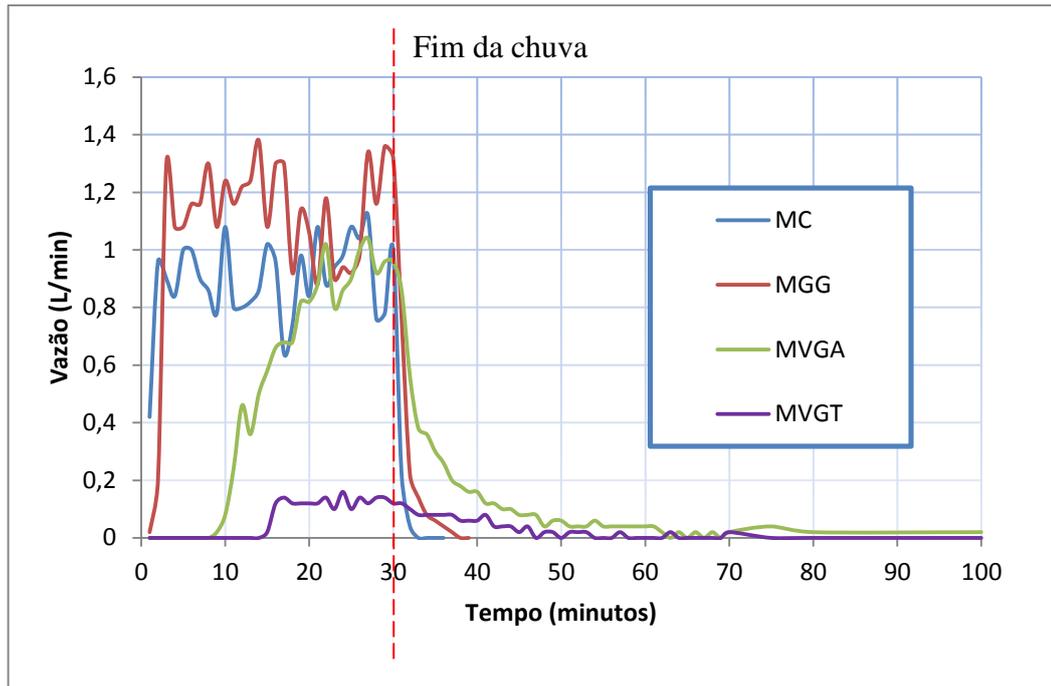


Figura 4.6 - Hidrograma para simulações de 30 minutos em módulos inclinados.

Chama a atenção o módulo MVGT que quando plano registrou-se o início de escoamento antes do que quando inclinado (13^o minuto e 15^o minuto respectivamente). o que fortalece a hipótese levantada anteriormente, de que MVGT e MVGA quando planos apresentavam-se com maior umidade no momento da simulação. As vazões máximas ficaram em torno de 0,85 l/min para MVGA e 0,16 l/min para MVGT.

Na Tabela 4.4 apresenta-se os Coeficientes Runoff, também chamado de Coeficiente de Deflúvio, para o MVGA em simulações de 20 e 30 minutos quando planos e inclinados. O Coeficiente Runoff é a relação entre a quantidade total de água escoada pela seção e a quantidade total de água precipitada.

Tabela 4.4 - Coeficientes Runoff do MVGA.

Simulação MVGA	Coeficiente Runoff
20 min plano	0,35
20 min Inclinado	0,52
30 min plano	0,47
30 min inclinado	0,51

Os valores encontrados para MVGA ficaram entre 0,35 e 0,52, bem próximo do valor proposto por Tomaz (2011) para telhados verdes com menos de 10 cm de substrato, como se pode ver na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Coeficiente Runoff de alguns tipos coberturas.

Tipo de superfície	Coeficiente Runoff	Tipo de superfície	Coeficiente Runoff
Pavimento asfáltico	0,95	Telhado verde < 10 cm	0,5
Pavimento de tijolo	0,85	Telhado verde 10 - 20 cm	0,3
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9	Telhado verde 20 - 50 cm	0,2
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95	Telhado verde > 50 cm	0,1

Fonte: Baseado em Tomaz (2011).

4.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE DRENAGEM

O MVGT que possui apenas um geotêxtil entre a camada de impermeabilização e o substrato apresentou drenagem ineficiente, ou seja, para chuvas com intensidade entre 44 mm/h e 65 mm/h, obtidas nas simulações, apresentou transbordamento pela superfície do beiral na parte inferior da caída do módulo.



Figura 4.7 - Acúmulo de água na parte interna do MVGT.



Figura 4.8 - Vista externa do transbordamento do MVGT.

O transbordamento mostrado na Figura 4.7 e Figura 4.8, ocorreu em todas as simulações, sempre após 13 ou 14 minutos de simulação.

Configurações em que não se utiliza camada de drenagem são encontradas em Minke (2004) e Conservation Technology (2008). Possivelmente o que causou o transbordamento foi a reduzida dimensão e/ou o material utilizado na camada de drenagem utilizada. Para MVGT utilizou-se uma faixa de 4 cm de altura e apenas 5 cm de largura de areia grossa, separada do substrato por um geotêxtil, como se pode ver na Figura 4.9.



Figura 4.9 - Faixa drenante em areia grossa envolta por um geotêxtil no MVGT.

Algumas alterações podem viabilizar esse sistema, como por exemplo: trocar o material utilizado na faixa drenante por um material com maior capacidade drenante (brita ou argila expandida); aumentar a largura da faixa drenante; utilizar um geotubo, envolto por material granular; ou ainda aumentar o diâmetro da válvula de drenagem.

O MVGA teve um comportamento satisfatório. Seu sistema de drenagem funcionou bem, não havendo transbordamento em nenhuma das simulações. Assim, a utilização do geocomposto drenante, aliado a uma faixa drenante de 4 cm x 5 cm de brita nº 1 (Figura 4.10), se mostra eficiente como sistema de drenagem.



Figura 4.10 - Faixa drenante do MVGA.

4.3 DESEMPENHO QUANTO A ADAPTAÇÃO DA VEGETAÇÃO

A partir do quarto ou quinto dia de sol consecutivo, observou-se o amarelamento da grama, também chamado de estresse hídrico, tanto para MVGT quanto para MVGA. Sendo assim, um telhado verde com utilização de um substrato arenoso com menos de 15% de finos, com altura de 4 cm e vegetado com grama esmeralda, requer cuidados com irrigação se instalado em locais com clima parecidos com o de Natal. Observou-se também que MVGA apresentou uma adaptação melhor que MVGT, provavelmente devido à maior oxigenação das raízes

da vegetação oferecida pelo geocomposto drenante. Na Figura 4.11 mostra-se um período estresse hídrico no MVGT.



Figura 4.11 - Estresse hídrico no MVGT.

Espera-se que a manutenção de uma cobertura verde seja mínima, inclusive com irrigação. Para isso deve-se procurar uma composição e altura de substrato, assim como, uma espécie da vegetação, que sejam adequados para determinada situação. Sabe-se que solos com maior percentual de partículas de minerais argila apresentam uma maior capacidade de retenção de água, por outro lado, aumentando a quantidade de argila deixa-se o solo com menor capacidade infiltração, podendo ser prejudicial às raízes da vegetação. Sabe-se também, que quanto maior a altura do substrato maior a capacidade de armazenamento de água para as raízes, mas por outro lado, maior a sobrecarga na estrutura. Portanto, através de estudos se pode chegar a uma combinação (composição e altura do substrato x espécie da vegetação) adequada para cada clima. Como forma de resolver problemas com irrigação citam-se os sistemas construtivos que são capazes de armazenar água, caso de alguns geoespaçadores e os sistemas hidropônicos, como o laminar, no qual se mantém uma lamina d'água abaixo do substrato, de onde a vegetação retém água por capilaridade.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de telhados verdes como potencial redutor do escoamento superficial urbano, utilizando-se de materiais geossintéticos para sua construção. Com base nos resultados podem ser destacadas as seguintes conclusões:

✓ Quanto à capacidade de retenção de água, comprovou-se que os telhados verdes, mesmo que com 4 cm de altura de substrato, conseguem reter uma considerável quantidade de água. A porcentagem de retenção, ou seja, a quantidade de chuva retida do volume total precipitado do MVGA ficou entre 47% quando inclinado e 65% quando plano valor obtido para intensidades de precipitação de 44 mm/h e 42 mm/h respectivamente.

✓ Para MVGA, o atraso no início de escoamento foi de 9 minutos quando inclinado e 15 minutos quando plano. Conclui-se, portanto, que a inclinação da cobertura verde influencia na taxa de retenção e no tempo de início de escoamento.

✓ A capacidade de retenção de água somada ao atraso do início do escoamento os torna uma medida compensatória nos sistemas de drenagem urbana, promovendo o aumento do tempo de concentração e conseqüentemente diminuindo os picos de vazão dos hidrogramas.

✓ O módulo MVGT, para o qual apenas um geotêxtil não tecido separa o substrato da camada de impermeabilização, apresentou uma excelente capacidade de retenção de água, mas por outro lado, a capacidade de drenagem foi insuficiente, ou seja, a intensidade de precipitação foi superior à vazão apresentada pelo sistema, levando-o a transbordar, inviabilizando sua utilização.

✓ Os geossintéticos possibilitaram a montagem dos módulos sem maiores problemas, de forma simples e rápida, bastando apenas algumas horas para fixar os materiais e plantar a vegetação. Comprovou-se que a geomembrana EPDM apresenta-se como uma boa opção para impermeabilização de superfícies, sendo flexível, bastante resistente e de fácil aplicação. A geomanta funciona perfeitamente como camada drenante, possibilita uma diminuição no peso, na altura da camada de drenagem e tem fácil aplicação. O geotêxtil não tecido tem sua

importante função de filtro garantida (visualmente não se notou presença de partículas do substrato na água escoada). Utilizado como camada de proteção mecânica da impermeabilização, o geotêxtil também se mostrou uma boa opção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Os telhados verdes devem ser tratados como uma prática sustentável capaz de mitigar alguns problemas ambientais das grandes cidades. Evidentemente, as coberturas verdes sozinhas não podem resolver todos os problemas decorrentes do desenvolvimento urbano, entretanto, proporcionam diversos benefícios que podem ser uma parte da solução se aliada a outras técnicas de construção sustentável. A utilização de telhados verdes e outras medidas sustentáveis são imprescindíveis para a manutenção do bem estar da população. Quando se edifica uma área, cria-se, uma nova situação. No local onde anteriormente havia um ambiente natural equilibrado, com solo, vegetação, recarga de aquíferos e animais, a urbanização chega, e junto a ela os impactos visuais e ambientais modificam consideravelmente a área. Na redução destes impactos os telhados verdes podem contribuir e muito, já que se eleva para a cobertura da edificação, parte da área verde ocupada, inserindo a edificação na área natural, reduzindo os impactos gerados pela urbanização.

Ao se realizar essa pesquisa surgiram várias possibilidades de novas investigações. Com posse das duas estruturas de madeira que representam telhados e do simulador de chuvas, inúmeras variações podem ser testadas.

Uma delas seria buscar uma configuração que resista a períodos de sol e estiagem, característicos da cidade de Natal para a qual as seguintes alternativas podem ser avaliadas:

- ✓ Alterar o tipo de vegetação, buscar uma espécie de vegetação que resista a períodos longos de sol e estiagem (como, por exemplo, as suculentas);
- ✓ Alterar a altura e composição do substrato; (buscar um solo que retenha maior quantidade de água, sem comprometer a drenagem, a oxigenação das raízes e a sobrecarga na estrutura);
- ✓ Buscar sistemas construtivos e materiais que possibilitem o acúmulo de água como, por exemplo, os geoespaçadores e os sistemas hidropônicos.

Quanto à capacidade de retenção de água, acredita-se que a busca por um modelo que necessite o mínimo de irrigação (como falado acima), conseqüentemente resultaria em um modelo com maior capacidade de reter água. E nesse foco citam-se novas possibilidades de testes, como:

- ✓ Variar a intensidade de simulação, a fim de se conseguir simulações com intensidades fracas, mas, porém, com tempo prolongado de horas ou dias;
- ✓ Simular chuvas em intervalos de tempo próximos, como, por exemplo, quatro dias consecutivos de uma simulação com tempo e intensidade determinados.
- ✓ Testes com chuvas naturais.

Ainda como sugestão de pesquisa, a análise da qualidade da água escoada pelo telhado verde e a possibilidade de reutilização desse água para irrigação da própria cobertura são boas alternativas.

Referências

Amusing Planet (2014). Igreja construída com cobertura verde em 1884 na Islândia. Disponível em (<http://www.amusingplanet.com/2014/09/the-last-turf-church-of-hof-iceland.html>), acesso em 28/10/2015.

Baldessar S. M. N. (2012) Telhado Verde e sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda. Tese de mestrado, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 125 p.

Beatrice C. C. (2011) Avaliação do Potencial de Uso de Três Espécies Vegetais como Cobertura Leve de Telhados em Edificações. Tese Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 125 p.

Botelho, M. H. C. (2011): Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades. 3ª ed. Edgard Blucher, São Paulo, p. 297.

Cantor, S. L. (2008): Green Roofs in Sustainable Landscape Design. W.W. Norton & Company, New York, 320 p.

Caputo, H. P. (1977): Mecânica dos solos e suas aplicações. 5ª Ed. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 241 p.

Castro, A. S. (2011) Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali-quantitativo do Escoamento Superficial Urbano. Tese Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 142 p.

Conservation Technology (2008): Green Roof Handbook. Conservation Technology Inc, Baltimore, USA, 25 p.

Dunnett, N.; Oberndorfer, E.; Lundholm, J.; Bass, B.; Coffman, R. R.; Doshi, H.; Gaffin, S.; Köhler, M.; Liu, K. K. Y.; Rowe, B. (2007): Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. American Institute of Biological Sciences. Vol. 57(10) p. 823-833.

Ecotelhado (2014): Manual de Especificações do Sistema Alveolar. Publicado por Ecotelhado ®. Porto Alegre, 16 p.

Ecotelhado (2014): Manual de Especificações do Sistema Laminar. Publicado por Ecotelhado ®. Porto Alegre, 17 p.

Ferraz, I. I. (2012) O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha Cerâmica. Tese de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 113 p.

Fortaleza I. (2011). Exemplo de um Pluviógrafo e um Pluviograma. Disponível em <<http://erosividadedachuva.blogspot.com.br/2011/03/o-que-e-um-pluviografo-como-fazer.html>>, acesso em 15/07/2016.

Furegatti, S. A. (2012) Avaliação da Variabilidade das Características Geotécnicas Relacionadas aos Processos Erosivos com Ensaios *in situ*. Tese Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 467 p.

Gonçalves M., Lopes J. G., Brito. J., Lopes M.G., (2005): Características das Membranas de Impermeabilização de Coberturas em Terraço. Engenharia Civil Um, Vol. 22(05) p. 59 – 71

Grupo Ecomasa S. L. (2016). Geomanta. Disponível em <<http://www.grupoecomasa.es/en/geomantas-y-biomantas/>>, acesso em 17/02/2016.

Hathaway A. M., Hunt W. F., Jennings G. D. (2008): A Field Study Of Green Roof Hydrologic And Water Quality Performance. Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 51(1), p. 37- 44.

Hypeness (2015). Reconstituição de um vilarejo do norte do Canadá colonizado por Vikings. Disponível em <<http://www.hypeness.com.br/2015/03/vikings-ja-tinham-vila-sustentavel-com-telhados-verdes-ha-1-000-anos/>>, acesso em 31/10/2015.

International Green Roof Association – IGRA (2015). Green roof types. Disponível em <<http://www.igra-world.com>>, cesso em: 09 março 2015.

Krebs, L. F. (2005) Coberturas Vivas Extensivas: Análise da Utilização em Projetos na Região Metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. Tese Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 179 p.

Larapedia (2016). Ciclo hidrológico. Disponível em <http://www.larapedia.com/resumos/Ciclo_Hidrologico_resumo.html>, acesso em 06/02/2016.

Lengen, J. V. (2014): Manual do Arquiteto Descalço. B4 editores. Rio de Janeiro, 379 p.

Liu K., Baskaran B. (2003): Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation - Ottawa. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction. Report no. NRCC - 46412.

Maccaferri (2008). Características Técnicas do Geocomposto para Drenagem MacDrain 1L 20.2.

Mentens, J.; Raes, D; & Hermy, M. (2006): Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century?. Landscape and Urban Planning, Vol. 77, p. 217 – 226.

Minke, G. (2004): Tectos verdes. Planificación, Ejecución, Consejos Prácticos. Editorial Fin de Siglo. Traducción del alemán: Arq. Denize Enlz Lagiotta, Montevideo, Uruguay, p. 86.

National Roofing Contractors Association - NRCA (2007). Green Roof Systems Manual. Publicado por National Roofing Contractors Association, Rosemont, IL, EUA, 141 p.

NBR 7181/84 Solo – Análise Granulométrica – Método de Ensaio, 13 p.

NBR 6508/84 Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica, 8 p.

NBR 6502/95 Rochas e solos - Terminologia, 18 p.

Neomatex Fibras Têxteis para Engenharia (2016). Geotêxtil não-tecido. Disponível em <<http://www.neomatex.com.br/manta-geotextil>>, acesso em 22/02/2016.

NTC Brasil Materiais para Construção (2016). Geotêxteis tecidos. Disponível em <<https://www.ntcbrasil.com.br/mantas/>>, acesso em 22/02/2016.

Obviousmag (2009). Casas na Escandinávia. Disponível em <http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html>, acesso em: 03/04/2015.

Ohnuma, A. A. J., Silva, L. P., Gomes, M. M. (2015) O efeito das condições climáticas em telhados verdes. 21º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília – DF.

Oliveira, C. M. M.; Pereira, F. X. (2015) Drenagem de Jardim Suspenso de Centro Empresarial. 7º Congresso Brasileiro de Geossintéticos, 8º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Brasília – DF.

Pinto C. I. R. C. (2014) Introdução às Coberturas Ajardinadas. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 48p.

Pinto, N. L. S. (1976): Hidrologia Básica. Edgard Blucher, São Paulo, p. 278.

Revista Galileu (2013). Ilustração de como seriam os Jardins Suspensos da Babilônia. Disponível em <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2013/11/encontraram-localizaco-dos-jardins-suspensos-da-babilonia.html> >, acesso em 11/03/2015.

Revista Time (2015). Nova sede do Facebook na Califórnia. Disponível em <http://time.com/3763880/facebook-campus-grass-roof/>>, acesso em 30/03/2015.

Ribeiro, B. T.; Magalhães, C. A. S.; Lima, J. M. Silva, M. L. N. (2000): Calibração e uso de minissimulador de chuva para estudos de erosão e poluição do solo. Boletim Técnico, Lavras, nº 77, p. 1 - 17.

Rocha, S. R.; Studart T. M. C. (2014) Caracterização das chuvas na cidade de Natal com a aplicação da técnica estatística dos quantis (1986 a 2013). 12º Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

Sand Hill Property Company (2015). Vista aérea do projeto que pode vir a ser o maior telhado verde do mundo. Disponível em <http://thehillsatvallco.com/>>, acesso em 17/10/2015.

Santos, P. T. S.; Santos, S. M.; Montenegro, S. M. G. L.; Coutinho, A. P.; Moura, G. S. S.; Antonino A. C. D. (2013): Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. Ambiente Construído, Porto Alegre, vol. 13, n. 1, p. 161-174.

Souza, L. A.; Stahlhofer I. S. (2013): Coberturas Verdes: uma inter-relação entre o direito e a arquitetura. 1 ed. Letras Jurídicas, São Paulo, p. 114.

Tassi, R.; Tassinari, L. C. S.; Piccilli, D. G. A.; Persch, C. G. (2014): Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139 - 154.

Tomaz P. (2011): Aproveitamento da Água da Chuva. 4ª ed. Navegar, São Paulo, p. 208.

Tucci, C. E. M. (2009): Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4ª ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, p. 943.

Tucci, C. E. M. (2007): Inundações Urbanas. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, p. 389.

Tucci, C. E. M. (2003): Inundações e Drenagem Urbana. UFRGS/ABRH, Porto Alegre – RS.

Urban Gardens (2013) Telhado verde sobre ônibus na Espanha. Disponível em <<http://www.urbangardensweb.com/?s=bus>>, acesso em 03/03/2015.

Vertematti J. C. (2004): Manual Brasileiro de Geossintéticos. Edgard Blucher, São Paulo. p. 428.

APÊNDICE A

Planilha de simulações de 20 minutos para módulos planos

Leituras - Pluviômetros (20 minutos planos)			
Pluviômetros	MC	MVGA	MVGT
Pluv. 1	10	9	28
Pluv. 2	8	7	7
Pluv. 3	32	22	32
Pluv. 4	36	22	35
Pluv. 5	20	10	7
Média (mm):	21,2	14	21,8

Leituras - volume x tempo (módulos planos - 20 minutos)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)
1	0,4	0,4	0	0	0	0
2	1,3	1,7	0	0	0	0
3	1,4	3,1	0	0	0	0
4	1,5	4,6	0	0	0	0
5	1,16	5,76	0	0	0	0
6	1,46	7,22	0	0	0	0
7	1,58	8,8	0	0	0	0
8	1,6	10,4	0	0	0	0
9	1,44	11,84	0	0	0	0
10	1,42	13,26	0	0	0	0
11	1,34	14,6	0	0	0	0
12	1,38	15,98	0	0	0	0
13	1,5	17,48	0,04	0,04	0	0
14	1,58	19,06	0,14	0,18	0,02	0,02
15	1,34	20,4	0,32	0,5	0,02	0,04
16	1,28	21,68	0,52	1,02	0,06	0,1
17	1,32	23	0,54	1,56	0,1	0,2
18	1,36	24,36	0,66	2,22	0,12	0,32
19	1,32	25,68	0,66	2,88	0,1	0,42
20	1,22	26,9	0,78	3,66	0,16	0,58
21	0,6	27,5	0,62	4,28	0,14	0,72
22	0,06	27,56	0,48	4,76	0,16	0,88
23	0,06	27,62	0,28	5,04	0,14	1,02
24	0,02	27,64	0,22	5,26	0,12	1,14
25	0,02	27,66	0,18	5,44	0,1	1,24
26	0	27,66	0,16	5,6	0,1	1,34
27	0	27,66	0,12	5,72	0,06	1,4

Leituras - volume x tempo (módulos planos - 20 minutos)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)
28	0	27,66	0,1	5,82	0,1	1,5
29	0	27,66	0,1	5,92	0,04	1,54
30	0	27,66	0,1	6,02	0,06	1,6
31	0	27,66	0,08	6,1	0,06	1,66
32	0	27,66	0,06	6,16	0,04	1,7
33	0	27,66	0,06	6,22	0,02	1,72
34	0	27,66	0,06	6,28	0,04	1,76
35	0	27,66	0,06	6,34	0,02	1,78
36	0	27,66	0,06	6,4	0,02	1,8
37	0	27,66	0,04	6,44	0,02	1,82
38	0	27,66	0,04	6,48	0,02	1,84
39	0	27,66	0,04	6,52	0,02	1,86
40	0	27,66	0,04	6,56	0,02	1,88
41	0	27,66	0,04	6,6	0	1,88
42	0	27,66	0,04	6,64	0,02	1,9
43	0	27,66	0,02	6,66	0,02	1,92
44	0	27,66	0,04	6,7	0	1,92
45	0	27,66	0,02	6,72	0	1,92
46	0	27,66	0,04	6,76	0,02	1,94
47	0	27,66	0,04	6,8	0	1,94
48	0	27,66	0	6,8	0	1,94
49	0	27,66	0,04	6,84	0,02	1,96
50	0	27,66	0,02	6,86	0	1,96
51	0	27,66	0,02	6,88	0	1,96
52	0	27,66	0,02	6,9	0,02	1,98
53	0	27,66	0,02	6,92	0	1,98
54	0	27,66	0,02	6,94	0	1,98
55	0	27,66	0,02	6,96	0	1,98
56	0	27,66	0	6,96	0	1,98
57	0	27,66	0	6,96	0,02	2
58	0	27,66	0,02	6,98	0	2
59	0	27,66	0	6,98	0	2
60	0	27,66	0	6,98	0,02	2,02
61	0	27,66	0	6,98	0	2,02
62	0	27,66	0	6,98	0	2,02
63	0	27,66	0	6,98	0,02	2,04
64	0	27,66	0	6,98	0	2,04
65	0	27,66	0	6,98	0	2,04
66	0	27,66	0,02	6,98	0	2,04

Leituras - volume x tempo (módulos planos - 20 minutos)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)
67	0	27,66	0	7	0	2,04
68	0	27,66	0	7	0	2,04
69	0	27,66	0,02	7	0	2,04
70	0	27,66	0,02	7,02	0,02	2,06
75	0	27,66	0	7,04	0	2,06
80	0	27,66	0	7,04	0	2,06
100	0	27,66	0	7,04	0	2,06

APÊNDICE B

Planilha de simulações de 20 minutos para módulos inclinados

Leituras - Pluviômetros (20 minutos inclinados)			
Pluviômetros	MC	MVGA	MVGT
Pluv. 1	12	14	6
Pluv. 2	10	10	10
Pluv. 3	32	22	22
Pluv. 4	27	14	27
Pluv. 5	19	13	24
Média (mm):	20,00	14,60	17,80

Leituras - volume x tempo (20 minutos - inclinado)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão MC (L/min)	Volume escoado acumulado MC (L)	Vazão MVGA (L/min)	Volume escoado acumulado MVGA (L)	Vazão MGT (L/min)	Volume escoado acumulado MVGT (L)
1	0,52	0,52	0	0	0	0
2	1,28	1,8	0	0	0	0
3	1,36	3,16	0	0	0	0
4	1,28	4,44	0	0	0	0
5	1,34	5,78	0	0	0	0
6	1,3	7,08	0	0	0	0
7	1,28	8,36	0	0	0	0
8	1,36	9,72	0	0	0	0
9	1,26	10,98	0,04	0,04	0	0
10	1,34	12,32	0,06	0,1	0	0
11	1,4	13,72	0,1	0,2	0	0
12	1,28	15	0,26	0,46	0	0
13	1,32	16,32	0,36	0,82	0,04	0,04
14	1,28	17,6	0,56	1,38	0,04	0,08
15	1,42	19,02	0,54	1,92	0,08	0,16
16	1,3	20,32	0,6	2,52	0,12	0,28
17	1,36	21,68	0,62	3,14	0,12	0,4
18	1,44	23,12	0,66	3,8	0,14	0,54
19	1,32	24,44	0,7	4,5	0,14	0,68
20	1,26	25,7	0,76	5,26	0,14	0,82
21	0,82	26,52	0,76	6,02	0,12	0,94
22	0,08	26,6	0,8	6,82	0,14	1,08
23	0,06	26,66	0,6	7,42	0,14	1,22
24	0	26,66	0,44	7,86	0,14	1,36
25	0	26,66	0,36	8,22	0,12	1,48
26	0	26,66	0,3	8,52	0,12	1,6
27	0	26,66	0,26	8,78	0,14	1,74
28	0	26,66	0,2	8,98	0,12	1,86

Leituras - volume x tempo (20 minutos - inclinado)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão MC (L/min)	Volume escoado acumulado MC (L)	Vazão MVGA (L/min)	Volume escoado acumulado MVGA (L)	Vazão MGT (L/min)	Volume escoado acumulado MVGT (L)
29	0	26,66	0,2	9,18	0,1	1,96
30	0	26,66	0,16	9,34	0,1	2,06
31	0	26,66	0,14	9,48	0,1	2,16
32	0	26,66	0,14	9,62	0,1	2,26
33	0	26,66	0,12	9,74	0,1	2,36
34	0	26,66	0,1	9,84	0,08	2,44
35	0	26,66	0,08	9,92	0,08	2,52
36	0	26,66	0,1	10,02	0,08	2,6
37	0	26,66	0,1	10,12	0,08	2,68
38	0	26,66	0,08	10,2	0,06	2,74
39	0	26,66	0,06	10,26	0,06	2,8
40	0	26,66	0,08	10,34	0,06	2,86
41	0	26,66	0,06	10,4	0,06	2,92
42	0	26,66	0,06	10,46	0,04	2,96
43	0	26,66	0,06	10,52	0,04	3
44	0	26,66	0,04	10,56	0,04	3,04
45	0	26,66	0,04	10,6	0,04	3,08
46	0	26,66	0,04	10,64	0,04	3,12
47	0	26,66	0,04	10,68	0,04	3,16
48	0	26,66	0,04	10,72	0,02	3,18
49	0	26,66	0,04	10,76	0,02	3,2
50	0	26,66	0,02	10,78	0,04	3,24
51	0	26,66	0,04	10,82	0,02	3,26
52	0	26,66	0,02	10,84	0,02	3,28
53	0	26,66	0,04	10,88	0	3,28
54	0	26,66	0,02	10,9	0,02	3,3
55	0	26,66	0,02	10,92	0,02	3,32
56	0	26,66	0,02	10,94	0	3,32
57	0	26,66	0,02	10,96	0,02	3,34
58	0	26,66	0,02	10,98	0	3,34
59	0	26,66	0,02	11	0,02	3,36
60	0	26,66	0,02	11,02	0	3,36
61	0	26,66	0	11,02	0,02	3,38
62	0	26,66	0	11,02	0	3,38
63	0	26,66	0,02	11,04	0,02	3,4
64	0	26,66	0	11,04	0	3,4
65	0	26,66	0	11,04	0	3,4
66	0	26,66	0	11,04	0,02	3,42
67	0	26,66	0	11,04	0	3,42
68	0	26,66	0	11,04	0	3,42

Leituras - volume x tempo (20 minutos - inclinado)						
Tempo (min)	MC		MVGA		MVGT	
	Vazão MC (L/min)	Volume escoado acumulado MC (L)	Vazão MVGA (L/min)	Volume escoado acumulado MVGA (L)	Vazão MGT (L/min)	Volume escoado acumulado MVGT (L)
69	0	26,66	0	11,04	0	3,42
70	0	26,66	0	11,04	0	3,42
75	0	26,66	0	11,04	0	3,42
80	0	26,66	0	11,04	0,02	3,44
100	0	26,66	0	11,04	0	3,44

APÊNDICE C

Planilha de simulações de 30 minutos para módulos planos

Leituras - Pluviômetros (30 minutos - plano)				
Pluviômetros	MC	MGG	MVGA	MVGT
Pluv. 1	15	26	10	13
Pluv. 2	12	10	18	10
Pluv. 3	24	34	20	30
Pluv. 4	20	23	34	36
Pluv. 5	26	25	12	22
Média (mm):	19,4	23,6	18,8	22,2

Leituras - volume x tempo (30 minutos - plano)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
1	0,32	0,32	0	0	0	0	0	0
2	0,92	1,24	0	0	0	0	0	0
3	0,86	2,1	0	0	0	0	0	0
4	0,84	2,94	0	0	0	0	0	0
5	0,88	3,82	0	0	0	0	0	0
6	0,84	4,66	0,08	0,08	0	0	0	0
7	1,04	5,7	1,16	1,24	0	0	0	0
8	0,92	6,62	0,92	2,16	0	0	0	0
9	1,02	7,64	0,96	3,12	0	0	0	0
10	1,08	8,72	1,02	4,14	0	0	0	0
11	0,86	9,58	0,84	4,98	0	0	0	0
12	1,02	10,6	1,08	6,06	0	0	0	0
13	0,92	11,52	1,1	7,16	0	0	0,12	0,12
14	1,06	12,58	1,06	8,22	0	0	0,1	0,22
15	0,94	13,52	0,92	9,14	0,02	0,02	0,1	0,32
16	0,8	14,32	1,04	10,18	0,06	0,08	0,1	0,42
17	0,92	15,24	1,06	11,24	0,14	0,22	0,12	0,54
18	0,98	16,22	0,96	12,2	0,24	0,46	0,08	0,62
19	1,08	17,3	1,04	13,24	0,44	0,9	0,1	0,72
20	0,86	18,16	1,26	14,5	0,56	1,46	0,08	0,8
21	0,8	18,96	1,28	15,78	0,58	2,04	0,12	0,92
22	0,64	19,6	0,96	16,74	0,66	2,7	0,08	1
23	1,02	20,62	1,16	17,9	0,7	3,4	0,14	1,14
24	0,92	21,54	1,16	19,06	0,7	4,1	0,12	1,26
25	0,78	22,32	1,24	20,3	0,74	4,84	0,14	1,4
26	0,86	23,18	1,08	21,38	0,76	5,6	0,14	1,54
27	0,92	24,1	1,14	22,52	0,78	6,38	0,14	1,68

Leituras - volume x tempo (30 minutos - plano)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
28	0,8	24,9	1,24	23,76	0,86	7,24	0,12	1,8
29	0,9	25,8	1,3	25,06	0,78	8,02	0,14	1,94
30	0,94	26,74	1,26	26,32	0,84	8,86	0,14	2,08
31	0,46	27,2	0,92	27,24	0,74	9,6	0,12	2,2
32	0,1	27,3	0,48	27,72	0,6	10,2	0,1	2,3
33	0,04	27,34	0,3	28,02	0,38	10,58	0,12	2,42
34	0	27,34	0,26	28,28	0,22	10,8	0,12	2,54
35	0	27,34	0,12	28,4	0,2	11	0,12	2,66
36	0	27,34	0,16	28,56	0,14	11,14	0,12	2,78
37	0	27,34	0,14	28,7	0,12	11,26	0,12	2,9
38	0	27,34	0,08	28,78	0,1	11,36	0,12	3
39	0	27,34	0,06	28,84	0,1	11,46	0,1	3,12
40	0	27,34	0,06	28,9	0,08	11,54	0,12	3,22
41	0	27,34	0,06	28,96	0,06	11,6	0,1	3,32
42	0	27,34	0,04	29	0,08	11,68	0,1	3,42
43	0	27,34	0,02	29,06	0,06	11,74	0,1	3,52
44	0	27,34	0,02	29,08	0,06	11,8	0,1	3,62
45	0	27,34	0	29,1	0,04	11,86	0,1	3,72
46	0	27,34	0,02	29,1	0,06	11,9	0,1	3,82
47	0	27,34	0	29,12	0,04	11,96	0,1	3,9
48	0	27,34	0	29,12	0,04	12	0,08	3,98
49	0	27,34	0	29,12	0,02	12,04	0,08	4,04
50	0	27,34	0	29,12	0,04	12,06	0,06	4,14
51	0	27,34	0	29,12	0,04	12,1	0,1	4,22
52	0	27,34	0	29,12	0,04	12,14	0,08	4,28
53	0	27,34	0	29,12	0,02	12,18	0,06	4,36
54	0	27,34	0	29,12	0,02	12,2	0,08	4,44
55	0	27,34	0	29,12	0,02	12,22	0,08	4,5
56	0	27,34	0	29,12	0,04	12,24	0,06	4,56
57	0	27,34	0	29,12	0,02	12,28	0,06	4,62
58	0	27,34	0	29,12	0,02	12,3	0,06	4,68
59	0	27,34	0	29,12	0,02	12,32	0,06	4,74
60	0	27,34	0	29,12	0,02	12,34	0,06	4,78
61	0	27,34	0	29,12	0,02	12,36	0,04	4,82
62	0	27,34	0	29,12	0,02	12,38	0,04	4,88
63	0	27,34	0	29,12	0,02	12,4	0,06	4,92
64	0	27,34	0	29,12	0,02	12,42	0,04	4,96
65	0	27,34	0	29,12	0,02	12,44	0,04	5
66	0	27,34	0	29,12	0,02	12,46	0,04	5,04

Leituras - volume x tempo (30 minutos - plano)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
67	0	27,34	0	29,12	0	12,48	0,04	5,08
68	0	27,34	0	29,12	0	12,48	0,04	5,12
69	0	27,34	0	29,12	0,02	12,48	0,04	5,16
70	0	27,34	0	29,12	0	12,5	0,04	5,2
71	0	27,34	0	29,12	0,02	12,5	0,04	5,22
72	0	27,34	0	29,12	0,02	12,52	0,02	5,24
73	0	27,34	0	29,12	0	12,54	0,02	5,26
74	0	27,34	0	29,12	0,02	12,54	0,02	5,28
75	0	27,34	0	29,12	0	12,56	0,02	5,28
76	0	27,34	0	29,12	0,02	12,56	0	5,3
77	0	27,34	0	29,12	0	12,58	0,02	5,32
78	0	27,34	0	29,12	0,02	12,58	0,02	5,34
79	0	27,34	0	29,12	0	12,6	0,02	5,36
80	0	27,34	0	29,12	0,04	12,6	0,02	5,36
85	0	27,34	0	29,12	0	12,64	0	5,4
100	0	27,34	0	29,12	0	12,64	0	5,4

APÊNDICE D

Planilha de simulações de 30 minutos para módulos inclinados

Leituras - Pluviômetros (30 minutos - inclinado)				
Pluviômetros	MC	MGG	MVGA	MVGT
Pluv. 1	14	34	20	15
Pluv. 2	8	15	14	11
Pluv. 3	32	40	42	40
Pluv. 4	24	24	40	22
Pluv. 5	23	22	21	31
Média	20,2	27	27,4	23,8

Leituras Volume x Tempo (30 minutos - inclinado)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
1	0,42	0,42	0,02	0,02	0	0	0	0
2	0,96	1,38	0,2	0,22	0	0	0	0
3	0,9	2,28	1,3	1,52	0	0	0	0
4	0,84	3,12	1,08	2,6	0	0	0	0
5	1	4,12	1,08	3,68	0	0	0	0
6	1	5,12	1,16	4,84	0	0	0	0
7	0,9	6,02	1,16	6	0	0	0	0
8	0,86	6,88	1,3	7,3	0	0	0	0
9	0,78	7,66	1,08	8,38	0,02	0,02	0	0
10	1,08	8,74	1,24	9,62	0,08	0,1	0	0
11	0,8	9,54	1,16	10,78	0,24	0,34	0	0
12	0,8	10,34	1,22	12	0,46	0,8	0	0
13	0,82	11,16	1,24	13,24	0,36	1,16	0	0
14	0,86	12,02	1,38	14,62	0,5	1,66	0	0
15	1,02	13,04	1,08	15,7	0,58	2,24	0,02	0,02
16	0,96	14	1,3	17	0,66	2,9	0,12	0,14
17	0,64	14,64	1,3	18,3	0,68	3,58	0,14	0,28
18	0,74	15,38	0,92	19,22	0,68	4,26	0,12	0,4
19	0,98	16,36	1,14	20,36	0,82	5,08	0,12	0,52
20	0,84	17,2	1,06	21,42	0,82	5,9	0,12	0,64
21	1,08	18,28	0,88	22,3	0,88	6,78	0,12	0,76
22	0,88	19,16	1,18	23,48	1,02	7,8	0,14	0,9
23	0,94	20,1	0,9	24,38	0,8	8,6	0,1	1
24	0,98	21,08	0,94	25,32	0,86	9,46	0,16	1,16
25	1,08	22,16	0,92	26,24	0,9	10,36	0,1	1,26
26	1,04	23,2	0,98	27,22	1	11,36	0,14	1,4
27	1,12	24,32	1,34	28,56	1,04	12,4	0,12	1,52
28	0,76	25,08	1,16	29,72	0,92	13,32	0,14	1,66

Leituras Volume x Tempo (30 minutos - inclinado)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
29	0,78	25,86	1,36	31,08	0,96	14,28	0,14	1,8
30	1	26,86	1,32	32,4	0,96	15,24	0,12	1,92
31	0,22	27,08	0,76	33,16	0,86	16,1	0,12	2,04
32	0,04	27,12	0,22	33,38	0,56	16,66	0,1	2,14
33	0	27,12	0,14	33,52	0,38	17,04	0,08	2,22
34	0	27,12	0,08	33,6	0,36	17,4	0,08	2,3
35	0	27,12	0,06	33,66	0,3	17,7	0,08	2,38
36	0	27,12	0,04	33,7	0,26	17,96	0,08	2,46
37	0	27,12	0,02	33,72	0,2	18,16	0,08	2,54
38	0	27,12	0	33,72	0,18	18,34	0,06	2,6
39	0	27,12	0	33,72	0,16	18,5	0,06	2,66
40	0	27,12	0	33,72	0,16	18,66	0,06	2,72
41	0	27,12	0	33,72	0,12	18,78	0,08	2,8
42	0	27,12	0	33,72	0,12	18,9	0,04	2,84
43	0	27,12	0	33,72	0,1	19	0,04	2,88
44	0	27,12	0	33,72	0,1	19,1	0,04	2,92
45	0	27,12	0	33,72	0,08	19,2	0,02	2,94
46	0	27,12	0	33,72	0,08	19,28	0,04	2,98
47	0	27,12	0	33,72	0,08	19,36	0	2,98
48	0	27,12	0	33,72	0,04	19,44	0,02	3
49	0	27,12	0	33,72	0,06	19,48	0,02	3,02
50	0	27,12	0	33,72	0,06	19,54	0	3,02
51	0	27,12	0	33,72	0,04	19,6	0,02	3,04
52	0	27,12	0	33,72	0,04	19,64	0,02	3,06
53	0	27,12	0	33,72	0,04	19,68	0,02	3,08
54	0	27,12	0	33,72	0,06	19,72	0	3,08
55	0	27,12	0	33,72	0,04	19,78	0	3,08
56	0	27,12	0	33,72	0,04	19,82	0	3,08
57	0	27,12	0	33,72	0,04	19,86	0,02	3,1
58	0	27,12	0	33,72	0,04	19,9	0	3,1
59	0	27,12	0	33,72	0,04	19,94	0	3,1
60	0	27,12	0	33,72	0,04	19,98	0	3,1
61	0	27,12	0	33,72	0,04	20,02	0	3,1
62	0	27,12	0	33,72	0,02	20,06	0	3,1
63	0	27,12	0	33,72	0	20,08	0,02	3,12
64	0	27,12	0	33,72	0,02	20,08	0	3,12
65	0	27,12	0	33,72	0	20,1	0	3,12
66	0	27,12	0	33,72	0,02	20,1	0	3,12
67	0	27,12	0	33,72	0	20,12	0	3,12
68	0	27,12	0	33,72	0,02	20,12	0	3,12

Leituras Volume x Tempo (30 minutos - inclinado)								
Tempo (min)	MC		MGG		MVGA		MVGT	
	Vazão (L/min)	Volume escoado acumulado (L)						
69	0	27,12	0	33,72	0	20,14	0	3,12
70	0	27,12	0	33,72	0,02	20,14	0,02	3,14
75	0	27,12	0	33,72	0,04	20,16	0	3,14
80	0	27,12	0	33,72	0,02	20,2	0	3,14
100	0	27,12	0	33,72	0,02	20,22	0	3,14

APÊNDICE E

Lista de normas brasileiras relacionadas aos geossintéticos.

- NBR 12553 – Geossintéticos: terminologia;
- NBR 12568 – Geossintéticos: determinação da massa por unidade de área;
- NBR 12569 – Geotêxteis: determinação da espessura;
- NBR 12592 – Geossintéticos: identificação para fornecimento;
- NBR 12593 – Amostragem e Preparação de Corpos de prova de Geotêxteis;
- NBR 12824 – Geotêxteis: determinação da resistência à tração não-confinada – ensaio de tração de faixa larga;
- NBR 13134 – Geotêxteis: determinação da resistência à tração não-confinada de emendas – ensaio de tração de faixa larga;
- NBR 13359 – Geotêxteis: determinação da resistência ao puncionamento estático – ensaios com pistão tipo cbr;
- NBR 14971 – Geotêxteis e produtos correlatos: determinação da resistência à perfuração dinâmica (queda de cone) – método de ensaio;
- NBR 15223 – Geotêxteis e produtos correlatos: determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento;
- NBR 15224 – Geotêxteis: instalação em trincheiras drenantes;
- NBR 15225 – Geossintéticos: determinação da capacidade de fluxo no plano;
- NBR 15226 – Geossintéticos: determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não-confinada;
- NBR 15227 – Geossintéticos: determinação da espessura nominal de geomembranas termoplásticas lisas;
- NBR 15228 – Geotêxteis e Produtos Correlatos: simulação do dano por abrasão – ensaio de bloco deslizante;
- NBR 15229 – Geotêxteis e Produtos Correlatos: determinação da abertura de filtração característica;