



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Francisca Rodrigues Magalhães

**Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados verdes com
vistas à retenção hídrica**

Rio de Janeiro

2015

Francisca Rodrigues Magalhães

Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados verdes com vistas à retenção hídrica

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Profª Ph.D. Marcia Marques Gomes

Coorientador: Ph.D. André Luís de Sá Salomão

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M188 Magalhães, Francisca Rodrigues.
Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados
verdes com vistas à retenção hídrica / Francisca Rodrigues
Magalhães. - 2015.
108f.

Orientador: Marcia Marques Gomes.

Coorientador: André Luís de Sá Salomão.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Telhados verdes – Dissertações. 3.
Água -- Captação -- Dissertações. I. Gomes, Marcia Marques. II.
Salomão, André Luís de Sá. III. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro. IV. Título.

CDU 62:502.12

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Francisca Rodrigues Magalhães

Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados verdes com vistas à retenção hídrica

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 09 de abril de 2015.

Banca Examinadora:

Profª Ph.D. Marcia Marques Gomes (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Ph.D. André Luís de Sá Salomão
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Ph.D. Wenceslau Geraldes Teixeira
Embrapa Solos_CNPS

Prof. Dr. Wellington Mary
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por tudo que alcancei. Sem vocês eu não chegaria tão longe.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força dada neste momento importante da minha vida.

Aos meus pais, por me apoiarem em tudo.

À minha orientadora Profa. Marcia Marques, pelo grande conhecimento acadêmico e experiência de vida transmitidos.

Ao meu co-orientador Dr. André Salomão pelo incentivo e conhecimentos transmitidos.

À toda a equipe do LABIFI pelo companheirismo. Nunca me esquecerei de vocês. Em especial À Siomara Dias da Costa Lemos, pela amizade, conhecimentos e paciência para comigo.

À FINEP, pelo apoio financeiro através do projeto em Rede Manejo de Águas Pluviais-MAPLU coordenado no âmbito da UERJ pela Profa. Marcia Marques e ao subprojeto *“Telhado verde (TV) e Uso de águas pluviais (CAP) como técnicas compensatórias em áreas de interesse social e ambiental do Estado do Rio de Janeiro”*.

Ao CNPq, pela bolsa DTI-C a mim concedida como parte do projeto MAPLU.

RESUMO

MAGALHÃES, Francisca Rodrigues. *Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados verdes com vistas à retenção hídrica*. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

As inundações são fenômenos naturais que ocorrem devido às chuvas de grande magnitude, agravadas nas áreas urbanas pela impermeabilização do solo e ineficiência dos sistemas de drenagem. Os telhados verdes surgem como uma medida compensatória estrutural que pode reter parte da água precipitada, adiando o pico de escoamento. O objetivo deste trabalho foi de desenvolver uma combinação de solo e condicionadores para telhado verde, promovam um aumento relevante na capacidade de retenção hídrica e um maior adiamento do pico de escoamento das águas pluviais. Este estudo foi dividido em duas etapas. Na Etapa 1, foram analisadas, em colunas de percolação, três condicionadores nas seguintes concentrações: Gel retentor Stockosorb® (2; 4; 6 g/dm³), Fertilizante de liberação lenta Osmocote® (4,7; 7,1; 9,0 g/dm³) e Zeólita (30; 50; 70 g/dm³), em três eventos (regas) consecutivos de chuva simulada na intensidade de 57 mm/h. A avaliação das concentrações mais adequadas dentre as testadas para cada condicionante foi baseada nas análises referentes à retenção hídrica (altura do meio após a rega; tempo de adiamento do escoamento; mm retidos; intensidade da água percolada em mm/min) e à qualidade da água percolada (pH, oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos). Na Etapa 2, foi avaliada, em vasos, a influência da presença de três espécies de plantas (*Arachis pintoi*; *Raphanus sativus*; *Lavandula angustifolia*) em dois tipos de meio: solo sem condicionadores; solo com condicionadores nas melhores concentrações indicadas na Etapa 1, sendo simulada apenas um evento de chuva de 57 mm/h. Foram analisados parâmetros biológicos (germinação; plantas sobreviventes; comprimento do caule e da raiz; pesos da biomassa do caule e da raiz); retenção hídrica (altura do meio após a rega; tempo de adiamento do escoamento; mm retidos; intensidade da água percolada em mm/min); qualidade da água percolada (pH; oxigênio dissolvido; turbidez; sólidos; nitrato; amônia; fósforo total). Os resultados da Etapa 1 indicaram que o gel promoveu de forma significativa um aumento na retenção hídrica, e adiou o início da percolação de água, além de promover ligeira elevação do pH na água percolada. A adição de zeólita resultou em um aumento significativo da retenção hídrica, porém tal aumento não é vantajoso visto que este representa um custo adicional que poderia ser reduzido com o aumento da proporção do gel na coluna. A adição de fertilizantes não promoveu mudanças na qualidade da água percolada. Na Etapa 2, somente o efeito da presença de *A. pintoi* (maior produção de biomassa de raiz e caule) e *R. sativus* foram avaliadas. A presença dos condicionantes no solo proporcionou um desempenho significativamente superior em relação a retenção hídrica (altura do substrato e adiamento do pico de chuva) e qualidade da água percolada (pH e turbidez) quando comparados aos testes realizados na presença somente de solo. O fertilizante influenciou nas altas concentrações dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) na água percolado nos resultados. A presença do gel no substrato, resultou numa capacidade superior de retenção de hídrica, e consequentemente no adiamento do pico de intensidade de chuva. Sendo assim, recomenda-se a aplicação do gel em telhados verdes para futuros estudos em ambientes externos.

Palavras-chave: Telhado verde; Condicionadores de solo; Ensaio em colunas; *Arachis pintoi*; *Raphanus sativus*; *Lavandula angustifolia*.

ABSTRACT

MAGALHÃES, Francisca Rodrigues. *Soil conditioners assessment for use on green roofs with views to hydro retention*. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Floods are natural phenomena that occur due to the large magnitude of rains, aggravated in urban areas by soil sealing and inefficient drainage systems. Green roofs emerge as a structural compensatory measure may retain part of the precipitated water, delaying the peak flow. The objective of this study was to develop a combination of soil and conditioners for green roof, promote a significant increase in water retention capacity and greater postponement of the peak stormwater runoff. This study was divided into two stages. In Step 1, were analyzed by percolation columns three conditioners in the following concentrations: Gel STOCKOSORB® retainer (2; 4; 6 g / dm³) Osmocote® slow-release fertilizer (4,7; 7,1; 9, 0 g / dm³) and zeolite (30; 50; 70 g / dm³), three events (watering) consecutive simulated rainfall intensity of 57 mm / hr. Evaluation of the most suitable among the concentrations tested for each condition was based on the analyzes for water retention (when the medium after watering, the flow delay time; mm retained; intensity of percolated water in mm / min) and the quality of percolated water (pH, dissolved oxygen, turbidity and solids). In Step 2, was evaluated in pots, the effect of the presence of three species of plants (*Arachis pintoi*, *Raphanus sativus*, *Lavandula angustifolia*) in two types of medium: no soil conditioners; best soil conditioners in concentrations indicated in Step 1, only one being simulated rainfall event of 57 mm / hr. Biological parameters were analyzed (germination, surviving plants, stem and root length, stem biomass and root weight); Water retention (after half the time of irrigation, the flow delay time; mm retained; intensity of percolated water in mm / min); quality of soil solution (pH, dissolved oxygen, turbidity, solids, nitrate, ammonia, total phosphorus). The Step 1 results indicated that the gel significantly promoted an increase in water retention, and delayed the start of the percolation of water, and promote slight increase of pH in soil solution. The addition of zeolite resulted in significant improvement of water retention, not as much as the retaining gel. The addition of fertilizers did not cause changes in the quality of the soil solution. In Step 2, only the effect of the presence of *A. pintoi* (higher biomass of root and stem) and *R. sativus* were evaluated. The presence of conditions on the ground provided a significantly better performance in relation to water retention (substrate height and postponement of peak rainfall) and quality of the soil solution (pH and turbidity) when compared to tests carried out in the presence only of soil. However, the influence on the high fertilizer concentrations of nutrients (nitrogen and phosphorus) in water leachate in the results, it is concluded that the presence of the gel on the substrate, resulting in a higher water retention ability, and therefore in delaying the peak intensity rain. Thus, the application of the gel is recommended for further studies to green roofs outdoors.

Keywords: Green roof; Soil conditions; Test in columns; *Arachis pintoi*; *Raphanus sativus*; *Lavandula angustifolia*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Técnicas compensatórias de águas pluviais.....	20
Figura 2 - Ilustração gráfica que exemplifica a utilização dos telhados verdes no topo de edifícios nas grandes cidades.....	21
Figura 3: Composição de um telhado verde.....	22
Figura 4: Aplicação de um telhado verde intensivo, com plantas de maior porte.....	24
Figura 5 - Terraço-jardim do Palácio Gustavo Capanema (edifício do MEC).....	25
Figura 6 – Aplicação de um telhado verde extensivo com plantas de pequeno porte.....	26
Figura 7 - Terraço do Village Mall, Rio de Janeiro.....	26
Figura 8 - Organograma do experimento de colunas.....	32
Figura 9 - Estrutura utilizada para os testes de percolação em coluna de PVC com diferentes composições de solo e condicionadores.....	33
Figura 10 – Planossolo coletado na Embrapa.....	36
Figura 11 - Gel Storckosorb®.....	38
Figura 12 - Vasos na estante de germinação.....	44
Figura 13 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes concentrações de gel em relação à retenção hídrica.....	52
Figura 14 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes concentrações de gel em relação à qualidade da água percolada.....	53
Figura 15 - Gráficos com média e desvios padrão dos diferentes tratamentos com gel retentor e as concentrações de fertilizante em relação à retenção hídrica.....	55
Figura 16 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes tratamentos com gel retentor e concentrações de fertilizante em relação à qualidade da água percolada.....	56
Figura 17 - Gráficos com média e desvios padrão dos diferentes tratamentos com gel retentor, fertilizante e as concentrações de zeólita em relação à retenção hídrica.....	58
Figura 18 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes tratamentos com gel retentor, fertilizante e concentrações de zeólita em relação à qualidade da água	59

percolada.....	
Figura 19 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante.....	63
Figura 20 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, relativos à geração de percolado de vasos com solo com e sem condicionadores na presença e ausência de <i>R. sativus</i>	66
Figura 21 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores na presença e ausência de <i>R. sativus</i>	70
Figura 22 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores na presença e ausência de <i>R. sativus</i>	74
Figura 23 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, relativos à geração de percolado de vasos com solo com e sem condicionadores, na presença e ausência de <i>A. pinto</i> i.....	76
Figura 24 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores na presença e ausência de <i>A. pinto</i> i.....	77
Figura 25 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores na presença e ausência de <i>A. pinto</i> i.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e suas descrições para escolha de técnica compensatória.....	19
Tabela 2 : Condicionadores testados em triplicata em colunas de PVC para avaliação dos melhores resultados quanto aos parâmetros físicos, e físico-químicos.....	34
Tabela 3 - Concentração dos cátions trocáveis do solo.....	36
Tabela 4 - Concentrações de macronutrientes do solo.....	36
Tabela 5 - Composição e concentrações dos micronutrientes encontrados no solo.....	37
Tabela 6 - Composição química do fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) Osmocote®.....	39
Tabela 7 - Intensidade de adubação e concentração em g/L e g/cm ³	40
Tabela 8 - Parâmetros físicos da Zeólita empregada.....	40
Tabela 9 - Parâmetros químicos da Zeólita empregada.....	41
Tabela 10 - Contagem dos dias de germinação.....	46
Tabela 11 - Concentrações "ótimas" dos condicionadores e sua quantidade por coluna.....	60
Tabela 12 - Comparação dos dados físicos obtidos com o estudo de Oliveira (2012) e literatura.....	89
Tabela 13 - Comparação dos dados químicos obtidos com o estudo de Oliveira (2012) e literatura.....	90
Tabela 14 - Comparação dos dados físicos obtidos com a literatura.....	93
Tabela 15 - Comparação dos dados químicos obtidos com a literatura.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE	Condutividade Elétrica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases do Efeito Estufa
LABIFI	Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias
OD	Oxigênio Dissolvido
PAA	Poliacililamida-acrilato
PAM	Poliacrilamida
pH	Potencial de Hidrogênio
PVC	Policloetano
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SFT	Sólidos Fixos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais
TV	Telhado Verde
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	14
1	OBJETIVOS.....	16
1.1	Objetivos Específicos.....	16
2	MUNDANÇAS CLIMÁTICAS E O EFEITO DA URBANIZAÇÃO.....	17
3	TELHADO VERDE.....	21
3.1	Características.....	21
3.2	Classificação TV.....	23
3.3	Influência dos Fatores Ambientais.....	26
3.4	Vantagens Ambientais.....	28
3.5	Estudos e Locais onde Foram Aplicados os TVs.....	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	Etapla 1 – Testes de Percolação em Colunas de PVC.....	33
4.2	Montagem das Colunas.....	34
4.3	Composição de Solo e Condicionadores Testados.....	35
4.3.1	<u>Solo.....</u>	35
4.3.2	<u>Gel retentor Stockosorb®.....</u>	37
4.3.3	<u>Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) de liberação lenta Osmocote®..</u>	38
4.3.4	<u>Zeólita.....</u>	40
4.4	Eventos de Chuva.....	42
4.5	Parâmetros Físicos Analisados.....	42
4.6	Parâmetros Físico-Químicos analisados.....	43
4.7	Etapla 2- Telhado Verde em Estante de Germinação.....	43
4.8	Estante de Germinação.....	44
4.9	Montagem dos Potes Plásticos.....	44
4.10	Composição dos Solo e condicionadores Testados.....	45
4.10.1	<u>Solo.....</u>	45
4.10.2	<u>Solo e condicionadores da Etapa 1.....</u>	45
4.11	Teste de Germinação.....	45
4.12	Simulações e Chuva com as Espécies Vegetais Desenvolvida.....	45
4.13	Parâmetros Físicos Analisados.....	47
4.14	Parâmetros Físico-Químicos Analisados.....	47
4.15	Dados Biológicos Analisados.....	48
4.16	Análise Estatística.....	48

5	RESULTADOS	49
5.1	Teste de Colunas – Etapa 1	49
5.1.1	<u>Gel</u>	49
5.1.2	<u>Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12)</u>	54
5.1.	<u>Zeólita</u>	57
5.2	Teste de Germinação e Percolação em Estante – Etapa 2	60
5.2.1	<u>Germinação, crescimento e peso das plantas</u>	61
5.2.2	<u>Testes físicos e físico-químicos</u>	65
6	DISCUSSÃO	85
6.1	Componentes do Solo e condicionadores	85
6.2	Espécie de Plantas	90
	CONCLUSÃO	95
	RECOMENDAÇÕES	96
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – Tabela com as chuvas do mês de janeiro de 2001-2011 referente à Estação Telepluviométrica Tijuca.....	107
	APÊNDICE B – Ficha agrônômica das plantas utilizadas no experimento de germinação.....	108

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são alterações no clima terrestre, resultantes do aquecimento global (LAERA, 2013). O aquecimento global é ocasionado pelo aumento da concentração dos gases do efeito estufa. Estes gases, quando em concentrações normais, mantêm o calor próximo da superfície terrestre. Porém em grandes concentrações são responsáveis pela elevação da temperatura do planeta (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013). Com o aumento da temperatura, o ar atmosférico amplia a sua capacidade de retenção de vapor d'água, resultando em uma maior demanda hídrica, gerando chuvas intensas e inundações (ASSAD et al., 2004).

As inundações são fenômenos naturais que ocorrem devido às chuvas de grande magnitude em bacias de captação, cursos d'água e suas nascentes (POMPÊO, 2000). Nas áreas urbanas, este fenômeno, é causado por chuvas intensas. Este grande volume sobrecarrega os corpos hídricos de uma bacia de drenagem e compromete os sistemas de drenagem urbanos. A falta de políticas públicas no processo de urbanização e expansão das grandes cidades, e de um planejamento adequado, com medidas mitigadoras, são uns dos principais fatores que contribuem para o transbordamento dos corpos hídricos e o alagamento das vias urbanas. As inundações causadas pela urbanização podem ser de diversas origens, entre elas, o parcelamento e a impermeabilização do solo, a ocupação de áreas ribeirinhas, a canalização dos rios, a falta de manutenção dos canais, a obstrução de canalizações por lixos e dejetos, obras de drenagem inadequadas e etc (POMPÊO, 2000).

As inundações além de causar danos aos bens materiais podem afetar a população local em outro fator de grande relevância, que é a questão sanitária e o aparecimento de doenças (amebíase, giardíase, gastroenterite, febre tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera), causados pela contaminação das águas por esgoto, pesticidas e uma gama de desreguladores endócrinos, como fármacos e produtos de higiene e cuidados pessoais (SCHERER; SANTOS, 2012). Outro fator de grande relevância é o aparecimento de vetores transmissores de doenças como insetos e roedores, entre outros.

Uma das formas de conter ou prolongar o tempo de escoamento das águas de chuvas nos grandes centros urbanos, é o uso dos telhados verdes (TVs) em prédios, casas e galpões. Uma das vantagens ambientais dos TVs é o atraso no pico de escoamento da água de chuva e a possibilidade de coleta desta água para usos como rega de jardins e lavagem de calçadas. Estudos comprovam a ação desta técnica como mitigadora de enchentes (AGUIAR; FEDRIZZI, 2010; JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004). Os TVs podem ser compostos de algumas camadas (de baixo para cima): camada impermeável à água; camada de retenção hídrica; camada de drenagem/filtragem; e uma camada de substrato, de espessura variável de acordo com a capacidade máxima de peso que o telhado suporta e o tipo de vegetação utilizada (COSTA et al., 2012; FERRAZ; LEITE, 2011; LIMA; BARROCA; D'OLIVEIRA, 2009; NARDINI; ANDRI; CRASSO, 2011). As vantagens ambientais do TVs são: redução do “Efeito da Ilha de Calor Urbano”; redução do consumo de energia, através do isolamento térmico das construções (redução do calor e frio); redução da poluição do ar e da água, pois funcionam como filtros; aumento da biodiversidade local, através da criação de áreas vegetadas e abrigos para insetos e pássaros; redução do ruído urbano gerado nas cidades; e aumento da umidade do ar no local (PANAYIOTIS; PANAYIOTA; IOANNIS, 2003; MONTERUSSO; ROWE; RUGH, 2005; AGUIAR; FEDRIZZI, 2010; SILVA et al., 2011).

Neste contexto, a pesquisa buscou investigar uma associação entre solo e condicionadores que proporcionasse uma maior retenção da água da chuva, permitindo assim, um maior tempo de retenção hídrica e a redução do escoamento rápido comum em cidades com alto grau de impermeabilização.

1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi testar a aplicabilidade de diferentes condicionadores em solo para ser aplicado em telhados verdes (TV) de centros urbanos, com vistas ao adiamento e redução do pico de escoamento, os quais contribuam como medida compensatória no controle de enchentes, com redução do volume percolado de águas pluviais.

1.1 Objetivos específicos

- Testar as combinações de três condicionadores de solo com foco na retenção de água;
- Propor uma nova composição de solo e condicionadores para uso em telhados verdes (TVs), a partir de ensaios de bancada;
- Analisar a qualidade da água percolada do modelo de TV em escala de bancada com vistas ao potencial poluidor (em função de contaminantes lixiviados) e possível reutilização;
- Propor um modelo de TV para os centros urbanos com uma menor necessidade de manejo e manutenção, a partir da definição da composição e quantidade dos condicionadores de solo e espécies vegetais testados.

2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

O aquecimento global é um fenômeno natural responsável por manter a temperatura média global em torno de 15°C, indispensável para a manutenção da vida na Terra (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013; BRAGA et al., 2005). Nos últimos anos, o aumento da temperatura global vem gerando um desequilíbrio climático mundial, ocasionando secas, enchentes, ondas de calor e frio, furacões e tempestades (BARROS, 2011; MARENGO, 2006).

Desde a Revolução Industrial, no final do século XVIII, houve um aumento significativo do efeito estufa, provocado pelo aumento das emissões dos gases do efeito estufa (GEE) (ANDRADE; COSTA, 2008). A justificativa para este fenômeno ampliado seria que, a partir desse período, foi criado um modelo de desenvolvimento e padrões de consumo que se sustentam no uso excessivo de combustíveis não renováveis que contribuem para elevação dos níveis de GEE (ANDRADE; COSTA, 2008; BRASIL, 2013a). Além do vapor de água, os principais gases que contribuem para o efeito estufa (GEE) são: gás carbônico (CO₂), gás metano (CH₄), óxido nitroso (NO₂), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC), e hexafluoreto de enxofre (SF₆) (ADISSI; PINHEIRO; CARDOSO, 2013; ANDRADE e COSTA, 2008; BARROS, 2011; BRAGA et al., 2005; MARENGO, 2006). Uma das consequências do aquecimento global é a elevação na frequência das chuvas (precipitação). Isto ocorre devido à transferência de calor latente da superfície para a troposfera na forma de vapor de água ou umidade. Este vapor e umidade condensam na troposfera e precipitam na forma de chuvas (LAMBERT et al., 2008). Este aumento nas precipitações pode ser principalmente observado, nas regiões tropicais. Nestas regiões, durante o século XX, houve um aumento de 0,2 a 0,3% na incidência de chuvas (ASSAD et al., 2004). O aumento das precipitações, também pode estar ligado ao fenômeno de mudança climática conhecida como *El niño*, que se caracteriza pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico (MARENGO, 2006).

Com o aumento das precipitações, ficam mais comuns às inundações ou enchentes, que ocorrem quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais, saem do leito de escoamento. Isto se deve à falta de capacidade de transporte de águas pelos corpos hídricos, e de uma área de alagamento (perene) as margens, que devido à ocupação fica comprometida. A ocupação das margens e o despejo de esgotos também contribuem para o assoreamento dos

rios, reduzindo sua profundidade. Nas áreas urbanas, este problema se agrava, devido à impermeabilização do solo causada pela ocupação urbana com moradias (casas e prédios), transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, entre outros (LEONCINI et al., 2011; RIGHETTO, 2009; TUCCI, 2007). Segundo Scherer; Santos (2012) e Almeida (2011) os problemas de inundações são tão antigos quantos os primeiros aglomerados humanos. As origens deste fenômeno podem estar ligadas aos fenômenos naturais de mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico ou de ações antrópicas com a urbanização sem planejamento, e a impermeabilização do solo (POMPÊO, 2000).

Impermeabilização do solo consiste na criação das chamadas superfícies impermeáveis, que correspondem a áreas cobertas com materiais, tais como asfalto, concreto e pedra, os quais vedam e evitam a infiltração da água no solo (BARNES et al., 2002; TASSINARI et al., 2013). A ausência de um solo permeável e/ou a falta de retenção da água da chuva pelas plantas gera um escoamento superficial que desemboca em canais fluviais, os quais, muitas vezes, não possuem uma vazão adequada, gerando as enchentes (ALENCAR; SILVA; OLIVEIRA, 2006; SCHERER; SANTOS, 2012). Assim, pode-se considerar o escoamento superficial um fator de grande influência nas inundações (RIGHETTO, 2009).

Uma das consequências do escoamento superficial é a poluição causada pela mobilização dos poluentes de diferentes origens como os presentes na atmosfera e nas superfícies urbanas para as bacias hidrográficas, isso repercute no uso da água, impondo restrições ou aumentando os custos do abastecimento público, à piscicultura, ao turismo e ao lazer, à diversidade de organismos vivos nos corpos receptores etc (RIGHETTO, 2009).

Os problemas com inundações muitas vezes são resolvidos com medidas de drenagem, que se mostram pouco flexíveis e adaptáveis a mudanças de uso de solo, como ocorre em ambientes urbanos. Essas medidas apresentam-se geralmente onerosas e de rápida obsolescência, pois este tipo de intervenção, muitas vezes de carácter emergencial tende a conduzir o emprego de soluções localizadas e parciais (RIGHETTO, 2009).

A partir de 1970, uma nova abordagem para o problema de enchente foi utilizada em países da Europa, América do Norte, assim como na Austrália e Japão. Para isto, foi dado um maior foco no controle do escoamento superficial, com o uso de cisternas e tanques de armazenamento de água da chuva. Isto resultou no amortecimento das cheias, e a redução dos volumes de escoamento superficial em momentos de pico de incidência de chuva (RIGHETTO, 2009).

Atualmente existe uma grande diversidade de técnicas compensatórias, sendo que a maioria atua em processos combinados de armazenamento e infiltração de águas pluviais

(Figura 1). As medidas compensatórias podem ser classificadas de várias maneiras: quanto ao efeito sobre o escoamento e sua geração, quanto à localização na bacia hidrográfica, quanto à forma geométrica predominante e etc (RIGHETTO, 2009) (Tabela 1).

O uso de telhado verde surge como medida compensatória estrutural de controle na fonte, que promove a interceptação e a evapotranspiração. Estes processos buscam integrar as áreas impermeáveis ao sistema de drenagem, dirigindo as águas de escoamento superficial para áreas verdes com suficiente capacidade de infiltração (KLOSS; CALARUSSE, 2006; RIGHETTO, 2009).

Tabela 1- Fatores e suas descrições para escolha de técnica compensatória.

Fator	Descrição
Físico	Características topográficas locais, o nível do lençol subterrâneo, a capacidade de infiltração e de suporte do solo
Urbanístico	Disponibilidade de espaço para técnicas compensatórias
Social	Aceitação das técnicas compensatórias pela população
Econômico	Conhecimento sobre os modos de funcionamento, percepção positiva ou negativa das técnicas, proximidade de equipamentos urbanos
Ambiental	Qualidade da água de escoamento e a vulnerabilidade do corpo receptor

Fonte: RIGHETTO, 2009.

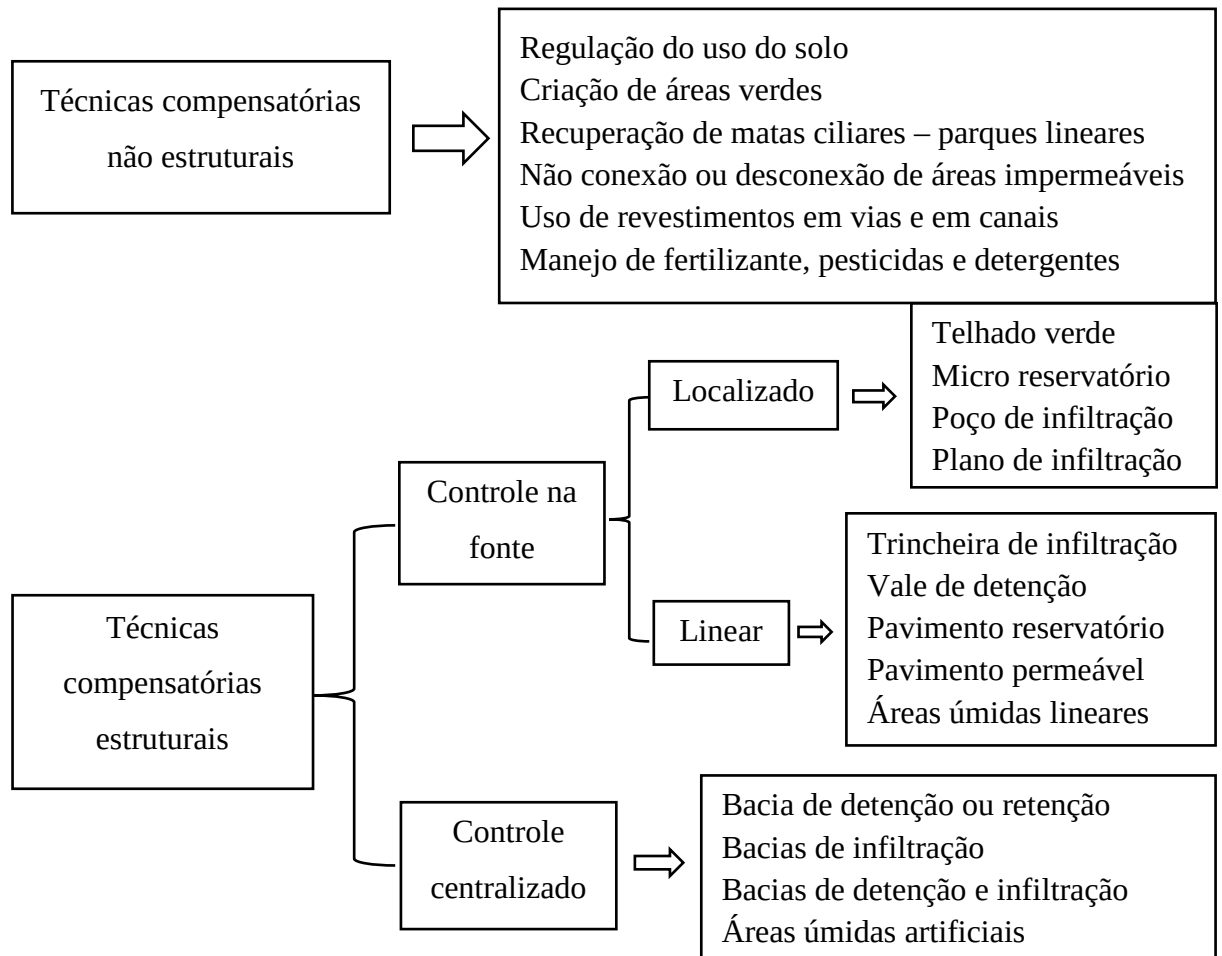


Figura 1 - Técnicas compensatórias de águas pluviais

Fonte: RIGHETTO, 2009.

3 TELHADOS VERDE

3.1 Caracterização

Os telhados das casas, os topos dos edifícios e cobertura dos galpões ocupam uma grande área da superfície nas cidades. Geralmente milhões de metros quadrados são ocupados por caixas d'água e casas de máquina (elevador). Do ponto de vista ambiental e paisagístico, são subutilizados, e pouco agradáveis visualmente. Entretanto, podem ser aproveitados como espaços verdes de convívio social e relaxamento, melhorando da qualidade de vida nas grandes cidades (Figura 2) (JOHNSTON; NEWTON, 2004; OBERNDORFER et al., 2007).



Figura 2 - Ilustração que exemplifica a utilização dos telhados verdes no topo de edifícios nas grandes cidades.
Fonte: THIÊN, 2012.

Entre as ações para um melhor aproveitamento da área superficial dos telhados e topos de prédios podemos citar três de grande importância. A captação de água de chuva e o armazenamento em cisternas, para o uso não potável, como irrigação de jardins e lavagem de calçadas (MOTA et al., 2012; VIEIRA et al., 2013). A segunda alternativa são os sistemas fotovoltaicos, que geram energia elétrica a partir da luz solar, esta tecnologia além de ambientalmente sustentável, reduz o consumo de energia das distribuidoras (MARINOSKI; SALAMONI; RÜTHER, 2004). O terceiro são os telhados verdes, que além de uma harmonia

paisagística, são usados como soluções mitigadoras de enchentes (retardando os picos de intensidade), podem captar a água de chuva (percolado do telhado) e podem proporcionar um melhor conforto térmico gerando uma redução do consumo de energia (MORUZZI; MOURA; BARBASSA, 2014).

Os TVs, também chamados de telhados ecológicos, ecotelhado, telhado vivo, coberturas verdes, ou coberturas vivas, são telhados com algum tipo de vegetação estabelecida espontaneamente ou intencionalmente. Os primeiros registros dos telhados verdes ocorreram entre 700 e 500 a.C. Os mais famosos foram os Jardins Suspensos da Babilônia, considerado como uma das 7 maravilhas do mundo, e os jardins de cobertura do Monte *Saint Michel* (Normandia), que foi construído no século XII na idade média (LAGSTRÖM, 2004).

Os TVs atuais são baseados ou tem influência no modelo islandês, onde eram usados como proteção contra a umidade e frio (LAGSTRÖM, 2004). Atualmente, esta tecnologia apresenta uma estrutura formada por diferentes camadas, com funções distintas (Figura 3) (LAGSTRÖM, 2004; LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005).

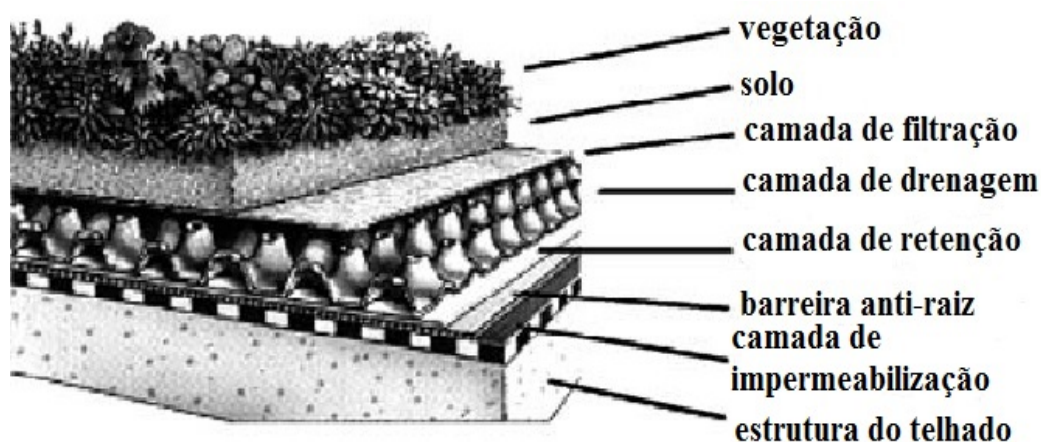


Figura 3 - Composição de um telhado verde.

Adaptado: LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005

Segundo Moraes e Roriz (2005), as camadas podem ser classificadas como:

- Estrutura do telhado – deve considerar: o peso total planejado (todas as camadas + peso da água), e as cargas não planejadas, como pessoas e máquinas (durante a manutenção);

- Camada de impermeabilização – protege a integridade do telhado contra infiltrações e pode ser feita de betume ou uma base sintética;
- Camada de isolamento ou isolamento térmico - escolhida em função da transmitância térmica e são usados, geralmente, pedaços de poliestireno extrudido;
- Barreira anti-raiz – também conhecida como camada de retenção de água, é formada por uma placa sintética absorvente e fica sobre a camada de impermeabilização;
- Camada de drenagem – fornece vazão ao excesso de água no solo. Esta camada é essencial ao sistema de TV. Pode ser formada de argila expandida ou pequenos pedaços de pedras, como seixo rolado, de 7 a 10 cm de espessura;
- Camada de filtração – evita que partículas do solo sejam lavadas. Normalmente se utiliza uma manta de geotêxtil ($\pm 150 \text{ g/m}^2$);
- Solo ou substrato – pode ser usado um substrato orgânico ou terra vegetal. A espessura desta camada pode variar de acordo com o tipo ou espécie de planta escolhida;
- Camada vegetal – As plantas são escolhidas de acordo com as condições climáticas, a ordem de solo, o apoio estrutural e manutenção do TV. Plantas nativas e espécies que não requerem muita água são mais recomendadas.

3.2 Classificações dos TVs

Os TVs são divididos em dois grupos, intensivos e extensivos. Esta classificação está relacionada com os diferentes objetivos, métodos e aplicações de cada telhado (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004; MORAIS; RORIZ, 2005a).

Os TVs intensivos, também chamados de jardins de cobertura, exigem cuidados mais intensos, possuindo um substrato com espessura de 20 cm ou mais, sistema de rega artificial e espécies de plantas de jardim (Figuras 4 e 5) (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005; RODRÍGUEZ; GÁLVEZ, 2007; VACILIKIO; FLEISCHFRESSER, 2011). São geralmente telhados planos, contudo podem suportar uma inclinação de até 3% (RODRÍGUEZ; GÁLVEZ, 2007). Os principais objetivos dos TVs intensivos são de proporcionar um espaço aberto social e de relaxamento (JOHNSTON;

NEWTON, 2004; RODRÍGUEZ; GÁLVEZ, 2007; VACILIKIO; FLEISCHFRESSER, 2011). As principais vantagens desse tipo de telhado são: numa maior diversidade de plantas e habitats; bom isolamento térmico para o prédio; maior harmonia paisagística e visual; possibilidade de utilização para cultivo de alimento, dentre outros (JOHNSTON; NEWTON, 2004). As desvantagens são: maior carga na estrutura do telhado; necessidade de irrigação e sistema de drenagem compatível; custo mais elevado de construção e manutenção (JOHNSTON; NEWTON, 2004).



Figura 4 - Aplicação de um telhado verde intensivo, com plantas de maior porte.

Fonte: BERNDTSSON; BENGTSSON; JINNO, 2009.



Figura 5 - Terraço-jardim do Palácio Gustavo Capanema (edifício do MEC, RJ).

Fonte: O TELHADO VERDE DE LE CORBUSIER, 2012.

Os TVs extensivos são desenvolvidos por razões estéticas e ecológicas e são indicados para telhados com inclinação de 0-30° (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004; LAZZARIN; CASTELLOTTI; BUSATO, 2005; LUNDHOLM, 2004; MORAIS; RORIZ, 2005a; VACILIKIO; FLEISCHFRESSER, 2011). As principais vantagens desse tipo de telhado são: sustentabilidade; harmonia paisagística; baixo custo de instalação; baixa manutenção (vegetação se desenvolve espontaneamente); não necessidade de irrigação (ou sistema simples de irrigação); pouca fertilização; necessidade de substratos mais finos (2 - 15 cm); menor carga sobre a estrutura do telhado; e a não exigência de reforço da estrutura do prédio. Estas características permitem que estes sejam instalados em estruturas de telhados já existentes, sendo um ponto-chave para utilização nas áreas urbanas (Figura 6 e 7) (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004; PANAYIOTIS; PANAYIOTA; IOANNIS, 2003). As desvantagens são: devido a pouca espessura da camada de substrato ocorre uma menor gama de tipos e espécies de plantas a serem selecionadas e, além disto, estas devem ser mais resistentes às condições extremas de exposição ao sol e variação na umidade; geralmente não são usadas como áreas de recreação (JOHNSTON; NEWTON, 2004).



Figura 6 – Aplicação de um telhado verde extensivo com plantas de pequeno porte.
Fonte: LAGSTRÖM, 2004.

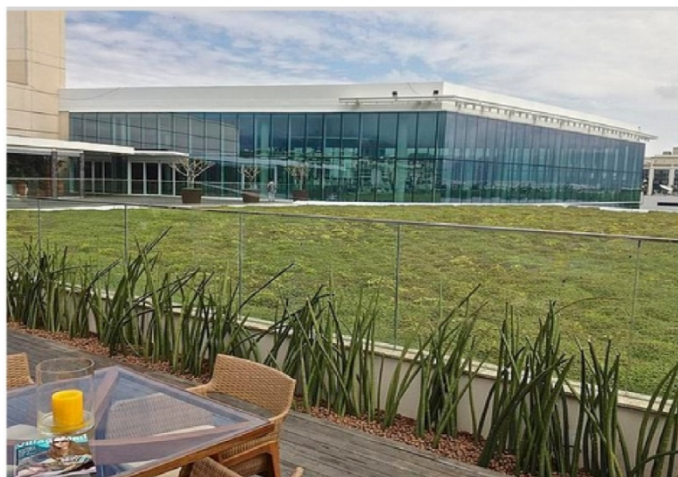


Figura 7 - Terraço do Village Mall, Rio de Janeiro.
Fonte: VILLAGE MALL RIO DE JANEIRO, 2014

3.3 Influência dos fatores ambientais

Por ser um jardim suspenso, a vegetação dos TVs está mais sujeita as variações das condições climáticas e operacionais. Sendo assim, o tipo de vegetação e as espécies utilizadas precisam suportar condições adversas de vento, exposição ao sol (radiação solar), temperatura e o regime de chuvas e estiagem (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

A localização dos TVs deve considerar, não somente a incidência de luz, mas também o regime e a direção dos ventos, pois estes podem provocar o ressecamento do solo e das plantas. O vento pode também atuar na erosão do substrato, principalmente antes do estabelecimento da vegetação, podendo danificar e até arrancar plantas desprotegidas. Outro fator de grande relevância é a velocidade dos ventos, e a formação dos obstáculos ou barreiras ou a canalização dos ventos (efeito de túnel de vento) em virtude de corredores de prédios altos (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004; OBERNDORFER et al., 2007). Uma das formas de solucionar ou amenizar a influência dos ventos é através de barreiras construídas. Em alguns casos a própria estrutura dos prédios já possui parapeitos, ou barreiras vegetais, como cinturões de arbustos mais resistentes que fornecem um abrigo para espécies menos resistentes (JOHNSTON; NEWTON, 2004; LAGSTRÖM, 2004).

Os telhados normais, geralmente não apresentam proteção contra o sol (as radiações solares) ou áreas de sombreamento, e podem esquentar muito durante o dia, elevando a temperatura interna da residência (5°C mais alta do que a temperatura do meio ambiente). O

oposto também é visto em climas temperados, onde durante o inverno, estes telhados podem congelar.

Um fator que está relacionado com os dois anteriormente citados é a influência da temperatura tanto do meio ambiente, quanto do sedimento nos TVs. Com isso, por estarem suspensos e apresentarem uma camada restrita de substrato, a temperatura do substrato está mais sujeita as grandes variações ambientais, do que nas grandes camadas de solo (condições normais) (JOHNSTON; NEWTON, 2004). Em locais onde as flutuações de temperatura são maiores, a vegetação local, através de uma seleção natural, possuem mecanismos e estratégias que permitem aumentar as chances de sobrevivência, como o fechamento dos estômatos (folhas murchas durante as horas mais quentes), folhas menores ou até a presença de espinhos no lugar das folhas (cactos) (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

Um dos principais fatores limitantes para o estabelecimento de uma vegetação nos TVs é a manutenção de uma determinada faixa de umidade do sedimento específica para cada tipo de vegetação. Em casos onde os substratos são pouco espessos ou profundos (fina camada) e ficam muito expostos as radiações solares, uma rápida evaporação da umidade pode ocorrer passando de uma situação de saturação de água para uma condição de falta ou perda excessiva de umidade (sedimento seco). Para que isso não ocorra, em alguns casos dependendo do regime de chuvas e das estações do ano, é necessário a instalações de um sistema de irrigação. Uma forma de equalizar o regime irregular de chuvas é através da utilização de reservatórios de água de chuva para a irrigação dos TVs em períodos de seca ou pouca chuva (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

3.4 Vantagens Ambientais

Algumas vantagens ambientais podem ser verificadas quando os TVs estão presentes no meio urbano e nas grandes cidades. Entre as vantagens pode-se citar: redução do escoamento de águas pluviais; purificação do ar (absorção de CO₂, poluentes atmosféricos e poeira); diminuição dos níveis de poluição sonora; diminuição do consumo de energia; fonte de alimento e abrigo para aves; promoção da biodiversidade; conforto térmico (redução do efeito “Ilha de Calor”); e harmonia paisagística da cidade, com a criação de espaço verde (AGUIAR; FEDRIZZI, 2010; ANDRADE; RORIZ, 2009; JOHNSTON; NEWTON, 2004;

LAGSTRÖM, 2004; LUNDHOLM, 2004; MORAIS; RORIZ, 2005b; VILLARREAL; BENGTTSSON, 2005).

Os telhados verdes são considerados técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem pluvial, pois atuam compensando ou diminuindo os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (RIGHETTO, 2009). No Brasil, 70,5% da eletricidade provem de fonte hidráulica (ZHOURI; OLIVEIRA, 2007). Essa característica nos torna o país muito dependente da chuva, que em um momento de estiagem como agora, pode gerar cortes de energia (POLITO, 2015). E ainda, com temperaturas altas, o ar-condicionado torna-se um grande consumidor de energia elétrica (MELLO et al., 2010). Sfakianaki e colaboradores (2009) mediram o comportamento térmico de dois edifícios residências em Atenas, Grécia. Foi observado que os TVs atuam melhorando o conforto térmico em edifícios durante o verão, com redução máxima das temperaturas do ar e da superfície interior do telhado em 0,6°C. Segundo Mello et al (2010) para manter uma sala a 21°C, a energia utilizada com um telhado verde corresponde a aproximadamente 51,6%, da energia utilizada sem um telhado verde.

Alguns efeitos diretos e práticos, como a redução do escoamento superficial por TVs, podem ser explicados pela maior capacidade de retenção da umidade por parte do solo e das plantas, quando comparados à capacidade de retenção dos tijolos, concreto e asfalto. Segundo Johnston; Newton (2004) e Lagström (2004) estudos feitos em Berlim, Alemanha, demonstram que os TVs absorvem 75% da precipitação em dias chuva. Sendo assim, mesmo que o volume máximo de retenção seja atingido (saturação) em períodos prolongados de chuva, ocorrerá um retardamento no tempo inicial, possibilitando uma melhor distribuição da vazão de escoamento, aumentando as chances de não haver um excesso de água nos corpos hídricos e no sistema de drenagem urbano e uma consequente acumulação nas vias públicas (enchentes) (MENTENS; RAES; HERMY, 2006).

O efeito “Ilha de Calor” urbano ocorre quando as superfícies impermeáveis absorvem o calor durante o dia e liberam durante a tarde e a noite. Isso causa um aumento na temperatura do ar no início do dia seguinte, o que causa um aumento médio da temperatura das cidades entre 6 e 10°C. Quando presentes em grandes números os TVs colaboram para a diminuição destes efeitos, utilizando a água como dissipadora de calor, resfriando assim o ar circundante em dias quentes (KUMAR; KAUSHIK, 2005; LAGSTRÖM, 2004).

Superfícies impermeáveis escuras possuem um baixo albedo (refletividade) quando comparados a superfícies com plantas. Em edifícios padrões ocorre uma maior absorção do calor e, consequentemente, consomem mais energia para seu resfriamento. O uso combinado de sedimento, vegetação e umidade possibilita a atenuação deste efeito, gerando um maior

conforto térmico, reduzindo, assim, o gasto de energia com resfriamento (LUNDHOLM, 2006).

As vantagens da aplicação dos telhados verdes ou ecotelhados não se restringem somente as questões diretas humanas de economia e conforto, mas também indiretamente como um grande atrativo para pássaros e insetos polinizadores, que vão encontrar alimento, abrigo e água, e possivelmente, um local para a reprodução (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

3.5 Estudos e locais onde foram aplicados os TVs

A cidade de Chicago, nos Estados Unidos da América (EUA), estabeleceu um programa de *Green Infrastructure*, no qual os TVs foram bastante utilizados, com mais de 80 telhados instalados, totalizando uma área de mais de um milhão de metros quadrados. Um estudo feito pelo *Chicago Department of the Environment*, em 2003, constatou que o escoamento oriundo dos TVs foi menor do que a metade do escoamento dos telhados comuns (KLOSS; CALARUSSE, 2006).

Em Toronto, no Canadá, houve a instalação de 100 TVs, os quais, segundo *National Research Council's Institute for Research in Construction*, causaram uma redução de 57% das médias anuais do fluxo de escoamento em relação aos telhados comuns. No verão e em períodos de pico de intensidade de chuva essa redução foi de 25% a 60%, quando comparados aos telhados tradicionais (KLOSS; CALARUSSE, 2006).

Morais e Roriz (2005), em seu experimento analisou a eficiência térmica dos TVs. Para isso, foram instalados, em um prédio da Universidade Federal de São Carlos (São Paulo), uma área com telhado sem vegetação e uma com um protótipo de TVs (vegetado). A temperatura do ar foi medida dentro dos quartos sobre a influência dos sistemas com e sem vegetação e comparadas à temperatura do ar externo (ambiental). O experimento ocorreu no período de junho e outubro de 2003. Os resultados das análises apontaram uma maior redução das temperaturas na área sobre a influência do TV quando comparada a outra área sem vegetação, destacando um melhor desempenho no primeiro.

Em outro estudo, Laar; Grimme (2006) também avaliaram a eficiência térmica e o volume proporcional escoado em um sistema de TV. O experimento foi realizado no Rio de Janeiro, no período entre janeiro de 2004 e fevereiro de 2005. Foram utilizadas quatro parcelas de ensaio, sendo duas formadas de fibrocimento e duas de betão. Uma de cada dupla

foi coberta com substrato e plantas e a outra foi mantida sem vegetação. Segundo os dados obtidos, foi observada uma diminuição da temperatura interna sobre a influência dos telhados de betão com plantas em relação aos telhados de betão sem plantas, 39,5°C e 50°C, respectivamente. Durante a noite, a situação se inverteu, com um aumento da temperatura no telhado de betão com plantas (31°C) em relação ao telhado de betão sem plantas (29°C). Os telhados de fibrocimento apresentaram um comportamento semelhante, com temperaturas altas durante o dia no telhado sem cobertura vegetal (54°C), e baixas no telhado com plantas (43°C). Durante a noite, temperaturas mais baixas ocorreram na área sobre a influência do telhado sem plantas. Quanto ao escoamento, em ambos os casos (fibrocimento e betão) os telhados vegetados apresentaram uma redução em média de 60% dos escoamentos em relação aos telhados sem vegetação.

Resultado semelhante foi observado por Hien; Yok e Yu (2007) quando investigavam o efeito térmico e visual de quatro telhados verdes extensivos em um parque de estacionamento em Singapura. Neste estudo, a conclusão foi que quando o TV estava úmido, a temperatura é menor do que a do telhado comum (60%).

Getter; Rowe e Andresen (2007) propuseram doze plataformas que continham telhados verdes extensivos comerciais, com 6,0 cm de profundidade, vegetados com plantas do gênero *Sedum* e *Saxifraga* (*Saxifraga granulata* L.). Neste caso, foram testadas as seguintes inclinações das placas: 2%, 7%, 15% e 25%. O experimento ocorreu durante o período de 26 de abril de 2005 a 01 de setembro de 2006, totalizando 62 eventos de chuva. Durante este período, os TVs apresentam um escoamento superficial mais longo e uma taxa de fluxo baixa. Sua retenção, em todas as inclinações, foi em média de 80%, com menor retenção na inclinação de 25% (75,3%) e maior retenção na de 2% (85,2%).

Kosareo; Ries (2007) estudaram a avaliação do ciclo de vida de TVs extensivos e intensivos em relação ao telhado comum na cidade de Pittsburgh, EUA. O estudo comprovou uma redução no consumo de energia nos locais onde os telhados verdes estavam instalados. Esta redução está ligada a baixa condutividade térmica do telhado em relação aos telhados comuns. Também houve redução no escoamento superficial, com redução de 60% no TV extensivo e 85% no TV intensivo.

Rodríguez; Gálvez (2007) fizeram um estudo de caso de TV em Ecatepec de Morelos, Cidade do México, México. O experimento revelou que houve uma diminuição de 8% do consumo de energia elétrica relacionado com uso de ar condicionado. Isto está ligado a diminuição dos ganhos de calor pelo edifício, no qual o TV atua como um isolante térmico.

Andrade; Roriz (2009) avaliou o comportamento térmico de um telhado verde com uma espécie de gramínea, *Brachiaria humidicola* (capim braquiária). Este estudo, realizado em São Paulo no período de junho de 2006 a março de 2007, foi realizado em dois ambientes, um telhado alvenaria comum e o outro telhado com o substrato e o capim braquiária. Os resultados mostraram que em dias com temperaturas elevadas, a superfície interna de TV apresentou menor temperatura do que o telhado de alvenaria. Este resultado foi atribuído principalmente a evapotranspiração do vegetal e a perda de umidade do sedimento.

Vacilikio; Fleischfresser (2011) avaliaram a temperatura interna de duas caixas de madeira com telhado de fibrocimento inclinado. Um dos telhados foi coberto com grama, simulando um TV extensivo e o outro telhado ficou sem cobertura. O estudo foi conduzido na Universidade Tecnológica do Paraná. Os resultados mostraram uma redução significativa na amplitude térmica da caixa com o TV extensivo do que no telhado de fibrocimento, apresentando uma redução das temperaturas máximas durante o dia, estabelecendo um conforto térmico na caixa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias (LABIFI), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), campus Maracanã. Este foi realizado em duas etapas (Figura 8).

Na Etapa 1 foram avaliados três tipos de condicionadores de solo distintos em colunas de PVC (policloetano) com solo estéril e simulações de eventos chuvas.

Na Etapa 2 foram aplicados os melhores resultados obtidos na Etapa 1, quanto a proporção de cada um dos 3 tipos de condicionadores, em vasos vegetados com três tipos de plantas (*Arachis pintoi*, *Raphanus sativus* e *Lavandula angustifolia*) simulando em estante de germinação e cultivo um telhado verde.

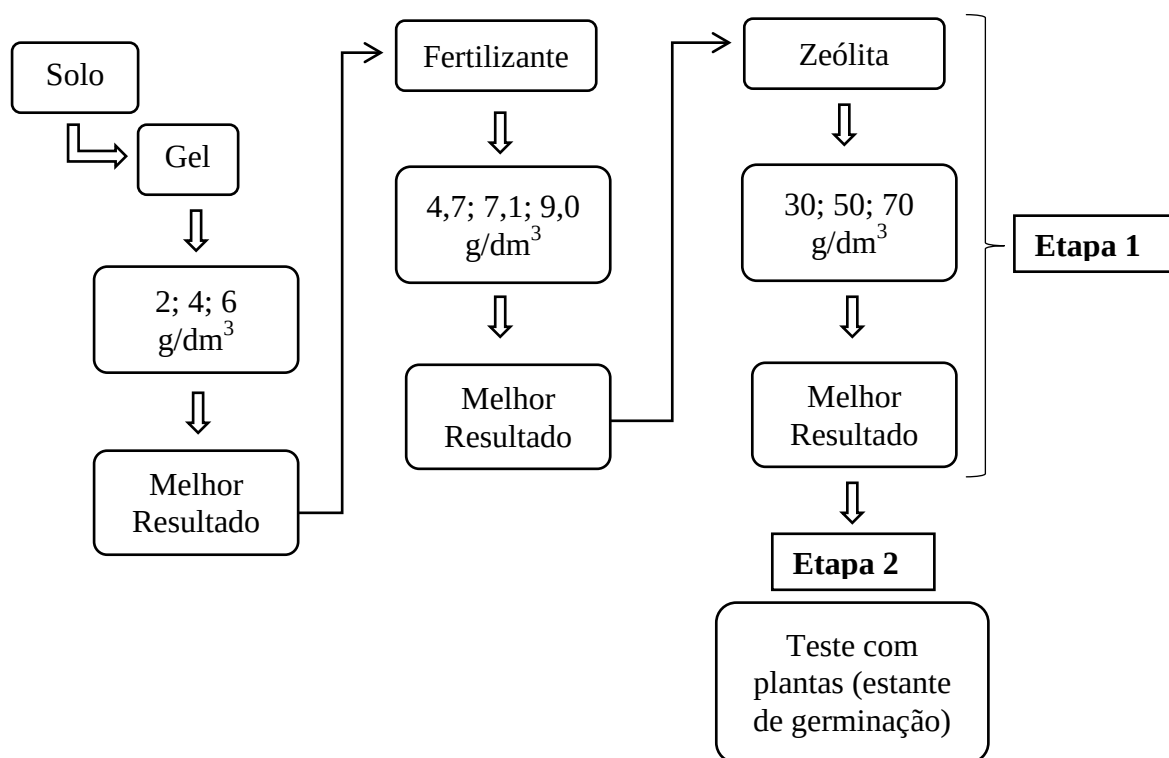


Figura 8 - Organograma do experimento de colunas.

4.1 Etapa 1 - Testes de percolação em Colunas de PVC

Nesta etapa foram avaliados três tipos de condicionadores de solo, com funções distintas e na seguinte ordem: Gel retentor, Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) de liberação lenta e Zeólita. Cada condicionador foi testado em colunas de PVC (25 cm de altura, 15,5 cm de diâmetro, e 5 cm de raio de capitação de água) (Figura 9), em três diferentes proporções e em triplicata (Tabela 2). Nesta etapa, foi utilizada somente uma quantidade fixa de solo para todos os ensaios com as diferentes composições de solo e condicionadores. A melhor proporção de cada condicionador foi também fixada para o ensaio com o solo e condicionadores seguinte. Logo, o controle de cada teste foi composto de solo, mais o melhor resultado do solo e condicionadores anterior. Por ser o primeiro a ser testado, o gel foi comparado ao solo (controle). Para a avaliação dos resultados e a escolha da melhor composição do solo e condicionadores, cada ensaio foi comparado com os respectivos controles quanto a capacidade de retenção hídrica (altura final do solo e condicionadores, percolação, intensidade de percolação, e volume aplicado, retido e atrasado) e qualidade da água percolada (condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, turbidez e a série de sólidos).

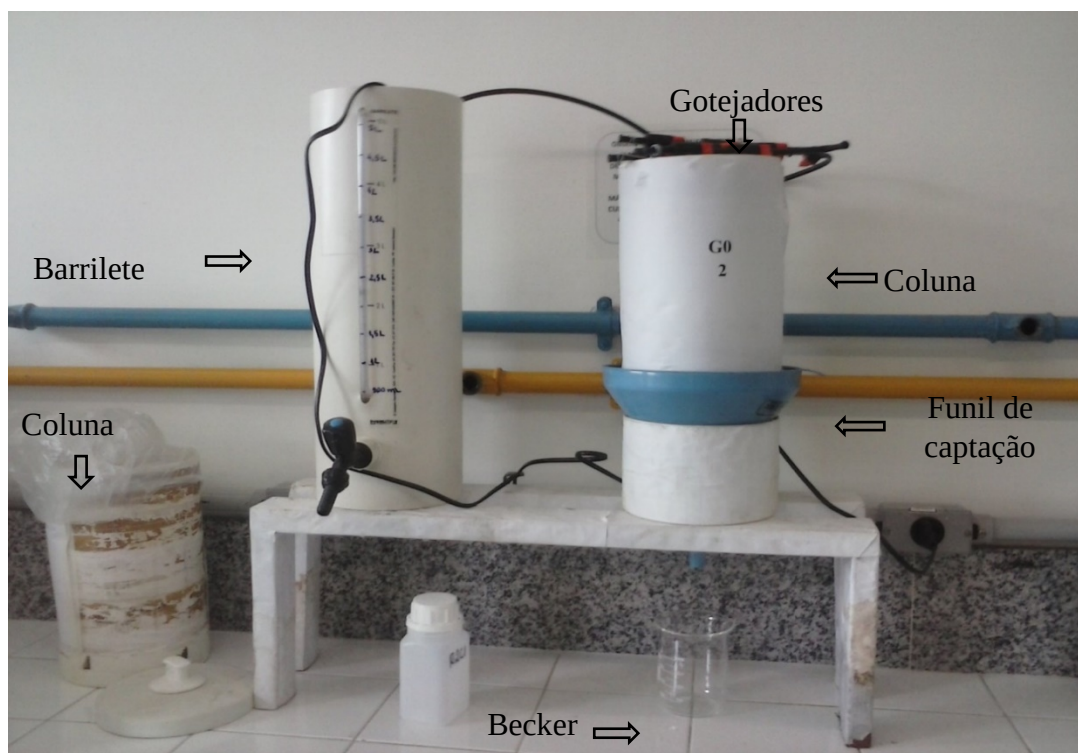


Figura 9 - Estrutura utilizada para os testes de percolação em coluna de PVC com diferentes composições de solo e condicionadores.

Fonte: O autor, 2014.

Tabela 2 - Condicionadores testados em triplicata em colunas de PVC para avaliação dos melhores resultados quanto a retenção hídrica e qualidade do percolado.

Componentes	Legenda	Níveis testados (g/dm ³)	Quantidade por coluna (g)
Gel retentor	G2	2,0*	3,52
	G4	4,0*	7,04
	G6	6,0	10,56
Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12)	F4,7	4,7*	8,28
	F7,1	7,1*	12,50
	F9,0	9,0**	15,85
Zeolitas	Z30	30,0	52,82
	Z50	50,0**	88,03
	Z70	70,0	123,25

* Quantidades sugeridas pelo fornecedor.

**Quantidade sugerida no estudo de Oliveira (2012).

4.2 Montagem das colunas

A montagem das colunas de PVC (25 cm altura x 15,5 cm diâmetro) foi realizada com elementos comum a todos os ensaios da Etapa 1, como a manta de drenagem na parte inferior da coluna, para evitar o carreamento de partículas grandes do solo e/ou condicionadores durante a percolação da água; e 2,87 kg de solo, equivalente a uma altura de 9,3 cm de solo e um volume de 1,76 dm³. A quantidade de solo em cada coluna foi definida baseada nas seguintes equações:

$$V_{\text{cilindro}} = A_b \times h \quad (1)$$

$$A_b = \pi \times r^2 \quad (2)$$

$$d = \frac{m}{V} \quad (3)$$

$$V = \frac{m}{d} \quad (4)$$

Onde, V_{cilindro} foi o volume da coluna (cm^3); A_b a área da base da coluna (cm^2); h a altura do solo (cm); $\pi = 3,14$; r o raio da base da coluna; d a densidade do solo (g/cm^3); e m a massa em gramas (g) do solo.

Inicialmente, foi feito o cálculo da área da base da coluna, equação (2). Com o valor achado, foi feito o cálculo do volume de solo, equação (1). Com o volume de solo, foi calculada a massa de solo através da modificação da equação (3), o que gerou a equação (4).

4.3 Composição de solo e condicionadores testados

4.3.1 Solo

O solo utilizado nos experimentos foi coletado na Embrapa Agrobiologia (coordenadas 22°45'39.1"S 43°41'10.7"W, Seropédica, Rio de Janeiro, RJ), sendo a parte colhida referente ao horizonte superficial (A), com profundidade de 15 cm. A camada que continha vegetação rasteira foi retirada. Após a coleta, o solo foi seco ao ar livre, se manteve equilibrado com o ambiente de laboratório por 5 meses (seco com umidade entre 3 - 4%) e foi peneirado utilizando uma peneira de 2 mm de (Figura 10).

A caracterização granulométrica do solo coletado foi de 64% de areia (2,0 - 0,20 mm), 23% de areia fina (0,2 - 0,05mm), 7% de silte (0,05 - 0,002mm) e 6% de argila (< 0,002mm), concentração de carbono orgânico 4,3 g/kg e o material foi caracterizado na ordem Planossolo (OLIVEIRA, 2012).



Figura 10 – Planossolo coletado na Embrapa.

Fonte: O autor, 2014.

A relação silte/argila do solo foi de 1,14, com grau de flocculação da argila de 100%. A porosidade total do solo foi de 40%. A densidade do solo foi de $1,63 \text{ g/cm}^3$, porém a densidade da partícula foi maior com $2,73 \text{ g/cm}^3$.

O pH do solo foi de 5,8 em água e 4,7 em KCl 1N, e apresentou uma acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) de $0,50 \text{ cmolc/kg}$. Os cátions trocáveis e suas concentrações encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentração dos cátions trocáveis do solo.

Cátions	Concentrações (cmolc/kg)
Ca^{2+}	0,80
Mg^{2+}	0,70
K^+	0,08
Na^+	0,01

Fonte: OLIVEIRA, 2012.

As concentrações de macronutrientes mostram uma prevalência de fósforo em relação ao nitrogênio (Tabela 4).

Tabela 4 - Concentrações de macronutrientes do solo.

Moléculas	Concentração (g/kg)
Fósforo	7,0
Nitrogênio	0,5

Fonte: Oliveira, 2012.

A condutividade elétrica do solo foi de 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os micronutrientes encontrados estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição e concentrações dos micronutrientes encontrados no solo.

Micronutrientes	Concentrações (mg/Kg)
Cobre	0,8
Ferro	4292,0
Manganês	115,1
Zinco	5,6
Cromo	3,4
Cobalto	3,4

Fonte: Oliveira, 2012.

4.3.2 Gel retentor Stockosorb®

O gel retentor Stockosorb® faz parte dos chamados polímeros hidroretentores, os quais aumentam a capacidade de armazenamento de água no solo, e são classificados em naturais, derivados de amido, e sintéticos, derivados de petróleo (VALE; CARVALHO; PAIVA, 2006).

O produto foi desenvolvido para a retenção de água (reservatório de água) e nutrientes para misturas envasadas do solo, otimizando as condições da mistura para um máximo crescimento da planta (GHEBRU; DU TOIT; STEYN, 2007; STOCKOSORB, 2013a). Segundo o fabricante seu uso reduz a frequência de irrigação para plantas, minimiza as perdas de água e nutrientes, ativa o crescimento das raízes, melhora a sobrevivência durante o estabelecimento de plantas jovens, aumenta a margem de segurança e qualidade de plantas, criando condições ideais para seu crescimento, possui um efeito de longa duração e é ambientalmente seguro (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006; STOCKOSORB, 2013b). Este gel (Figura 11) pode ser utilizado em paisagismo, reflorestamento, campos de golfe, recuperação de terras, agricultura vegetal, transporte e armazenagem de produtos (STOCKOSORB, 2013b). Seu desempenho está ligado a sua constituição química, as condições de formato do polímero e a composição química do solo ou da água da irrigação (ABEDI-KOUPAI; ASADKAZEMI, 2006).



Figura 11 - Gel Storckosorb®.

Fonte: O autor, 2014.

Os polímeros hidroretentores mais utilizados são sintéticos, entre eles podemos citar derivados de propenamida chamados de poliacrilamida ou PAM, e os copolímeros, denominados poliacrilamida-acrilato ou PAA, usado em fraldas e depósito de líquidos químicos residuais (VALE; CARVALHO; PAIVA, 2006). O gel é um composto de poliacrilamidas altamente reticulado, com 40% das amidas hidrolisadas a grupos carboxílicos, e o gel da marca Stockosorb® é baseado em copolímero de potássio livre de nutrientes (Figura 10) (EVONIK, 2014; GHEBRU; DU TOIT; STEYN, 2007; SARVAŠ; PAVLENDÁ; TAKÁČOVÁ, 2007; VALE; CARVALHO; PAIVA, 2006)

4.3.3 Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12)

O fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) de liberação lenta Osmocote® é comercializado na forma de grânulos constituídos por uma mistura de macro e micronutrientes solúveis, estes sendo revestidos por uma resina de material orgânico que controla a liberação dos nutrientes em função da temperatura e umidade do meio (ALMEIDA et al., 2012; GONÇALVES et al., 2007; WILSEN NETO; BOTREL, 2009). Segundo a empresa fabricante do produto este fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) possui na sua composição são utilizados 15% de nitrogênio (N), 9% de fosfato (P_2O_5) e 12% potássio (K_2O) (Tabela 6). Possui um tempo de liberação de 3 a 4 meses após adubação.

Tabela 6 - Composição química do fertilizante Osmocote® (15-9-12)

Componente	Porcentagem (%)
Nitrogênio (N)	15
Fosfato (P_2O_5)	9
Potássio (K_2O)	12
Magnésio (Mg)	1,3
Enxofre (S)	5,9
Boro (B)	0,02
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,46
Manganês (Mn)	0,06
Molibdênio (Mo)	0,02
Zinco (Zn)	0,05

Fonte: Osmocote®.

A liberação de nutrientes ocorre pela entrada do vapor de água na resina, dissolvendo os nutrientes do interior, sendo que estes são liberados de forma gradual, dependendo do valor de temperatura e, nas temperaturas superiores a 21°C, a liberação de nutrientes é mais rápida (GONÇALVES et al., 2007).

Os fertilizantes de liberação lenta permitem uma disponibilidade contínua de nutrientes para a planta, diminuindo, assim, a possibilidade de ocorrer à deficiência de nutrientes e perda por lixiviação, dispensando a aplicação de outras fontes e diminuindo o custo operacional (LANA; LUCHESE; BRACCINI, 2010; MENDONÇA et al., 2004; SERRANO et al., 2004). A lixiviação dos nutrientes também pode contribuir para a poluição dos efluentes, o que os fertilizantes de liberação lenta podem reduzir (LANA; LUCHESE; BRACCINI, 2010).

A taxa de aplicação varia com a intensidade de adubação que se quer para o solo ou substrato. A Tabela 7 informa as possíveis intensidades de adubação e respectivas concentrações do fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12).

Tabela 7 - Intensidade de adubação e concentração em g/L e g/cm³.

Intensidade	Concentração	
	g/L	g/cm ³
Baixa	1,8	0,0018
Média	4,7	0,0047
Alta	7,1	0,0071

Fonte: Osmocote®.

4.3.4 Zeólita

Para os estudos da avaliação da capacidade de troca catiônica foi utilizada uma camada de zeólitas, doadas pela empresa Celta Brasil®. De acordo com as informações fornecidas pela empresa, as zeólitas tinham dimensões entre 1,0 a 3,0 mm, apresentando uma capacidade de troca catiônica (CTC) de 1,57 meq/g e um pH entre 6 e 11 (Tabela 8 e 9). As quantidades de zeólitas testadas foram de 30, 50 e 70 g/dm³.

Tabela 8 - Parâmetros físicos da Zeólita empregada.

Parâmetro	Classificação
Cor	Verde pistache
Granulometria	1,0 a 3,0 mm
Capacidade de troca catiônica (CTC)	1,57 meq/g
Ponto de fusão	1300 °C
Densidade aparente	0,98g/cm ³
pH	6-11

Fonte: Celta Brasil®.

Tabela 9 - Parâmetros químicos da Zeólita empregada.

Parâmetro	Classificação (%)
Perda ao fogo	9,70
SiO ₂	68,38
Al ₂ O ₃	11,30
Fe ₂ O ₃	1,86
TiO ₂	0,35
CaO	3,13
MgO	0,39
Na ₂ O	3,50
K ₂ O	1,22
MnO	<0,01
P ₂ O ₅	0,09
ZnO	<0,01
CuO	0,06

Fonte: Celta Brasil®.

A avaliação da capacidade de troca catiônica está ligada a capacidade do material de atrair um cátion mais próximo, de maneira a manter a neutralidade. Esta característica está ligada a relação entre o silício (Si) e o alumínio (Al) e também a superfície ativa das zeólitas, gerando, uma benesse na agricultura, através da retenção de nutrientes, tais como potássio (K) e nitrogênio (N) pelo solo. (LUZ, 1995; MUMPTON, 1999).

As zeólitas constituem um grupo de 50 tipos de minerais, de ocorrência natural, alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalino-terrosos (BERNARDI, 2008). São constituídos de alumino silicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos e apresentam sua estrutura canais e cavidades interconectadas de tamanhos moleculares, nos quais se encontram íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorvatos e sais (LUZ, 1995). Por sua natureza química, estes materiais são considerados peneiras moleculares, adsorvem seletivamente moléculas que caibam em seus canais (LUNA; SCHUCHARDT, 2001).

4.4 Eventos de chuva

A simulação dos eventos de chuva foi realizada com auxílio de sete gotejadores (CLABER®), distribuídos uniformemente a aproximadamente 15 cm da superfície do solo nas colunas de PVC, e ligados por tubos plásticos, de material inerte, a uma bomba submersa modelo WP 350 (JEBÃO®). Esta bomba foi usada em um barrilete de 5 L com água destilada.

Para realização dos ensaios de percolação foram simuladas chuvas com intensidade de 57 mm/h (18 mL/min). A escolha deste volume de chuva foi baseada na segunda maior intensidade de chuva em 1 hora no período de 10 anos (2001-2011) registrados pela Estação Telepluviométrica do Bairro da Tijuca, com um período de retorno de 6 anos (1997-2014) (Anexo A) (CENTRO DE OPERAÇÕES RIO, 2014).

A simulação da chuva foi dividida em três eventos consecutivos (Evento 1, Evento 2, Evento 3). Cada evento foi determinado pela coleta de 400 mL de percolado, e o tempo de percolação foi diferente para cada ensaio, dependendo do tipo de condicionador utilizado no solo. A coleta da água percolada foi realizada em um *Becker* de vidro (200 mL) por um funil colocado na parte inferior de cada coluna. O volume coletado de cada evento foi analisado quimicamente e comparado com o respectivo controle.

4.5 Retenção hídrica

Os testes em coluna de PVC com solo com diferentes condicionadores em concentrações diferentes foram avaliados quanto à retenção hídrica em: (i) variação da altura da coluna de meio após a irrigação (Δh) (cm) (altura inicial – altura final); (ii) tempo de percolação (minutos) até que fossem atingidos os 400 mL de cada evento; (iii) intensidade da percolação (mm/min); (iv) tempo adiamento do escoamento (minutos), tempo entre o início da chuva e a coleta do percolado, utilizando a intensidade de chuva simulada como base; (v) mm totais de chuva aplicada nas colunas; (vi) adiamento do volume de escoamento (mm de chuva), volume retido antes do escoamento da água pela coluna; e (vii) mm retidos após a rega calculados utilizando a equação abaixo (5); (viii) mm retidos durante cada evento.

$$h(mm) = 10 \times volume \div \acute{a}rea (cm^2).....(5)$$

4.6 Qualidade da água percolada

As análises físico-químicas da água percolada foram realizadas nos três volumes sucessivos de 400 mL por coluna (3 eventos) e seguindo a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), são eles: pH - potencial de hidrogênio (pH); OD - oxigênio dissolvido (mg/L); CE - condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); turbidez (NTU); SST - sólidos suspensos totais (mg/L); SDT - sólidos dissolvidos totais (mg/L); SFT - sólidos fixos total (mg/L); SVT – sólidos voláteis totais (mg/L); e ST - sólidos totais (mg/L).

4.7 Etapa 2 – Telhado verde em estante de germinação

Na segunda etapa foram avaliadas a influência da presença de três espécies de plantas (individualmente testada) em dois tipos meios, sendo um deles o solo sem condicionadores e o outro o solo com condicionadores (gel retentor, fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) e zeólita) nas concentrações que apresentaram melhores resultados na Etapa 1 (Figura 12). Os ensaios foram realizados com cada uma das três espécies de planta em triplicata e em potes de plástico com 14 cm de altura, 9,0 cm de raio na base maior (superior) e 6,5 cm de raio na base menor (inferior). Os potes apresentavam seis furos na parte inferior (base menor) para escoamento da água. A avaliação dos resultados na presença ou não de plantas foi realizada comparando os resultados de retenção hídrica, qualidade da água percolada e biológicos com os respectivos controles.



Figura 12 - Vasos na estante de germinação.
Fonte: O autor, 2014.

4.8 Estante de germinação

A estante de germinação utilizada nos ensaios tinha as dimensões de 46 cm de altura, 58 cm de comprimento e 9,5 de profundidade e era dividida em 5 prateleiras. Em cada prateleira foram utilizados um sistema de iluminação para a simulação da luz solar com 1 lâmpada fluorescente T10 de 20W e 1 lâmpada fluorescente *Grolux* da marca Sylvania®. O fotoperíodo adotado foi de 12/12h (luz/escuro) (ANDRADE; OLIVEIRA; BORGHETTI, 2013;; LEITE, 2008; RIVA, 2012). A temperatura ambiente foi de $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ (sala climatizada), com umidade média de $46 \pm 5\%$.

4.9 Montagem dos potes plásticos

A montagem dos potes plásticos foi realizada com elementos comum a todos os ensaios desta etapa, como a manta de drenagem na parte inferior do pote, para evitar o carreamento de partículas grandes do solo e/ou condicionadores durante a percolação da água. A altura de solo adotada para os testes foi a mesma utilizada na Etapa 1 (9,3 cm). O cálculo do volume de solo usado nos testes foi feito de acordo com a Equação 6.

$$V \text{ do tronco (cm}^3\text{)} = \frac{\pi h}{3} [R^2 + Rr + R^2] \quad (6)$$

Onde, $\pi = 3,14$, h = altura do solo, R = raio da base maior (cm), r = raio da base menor (cm). Após o cálculo do volume, a massa de solo utilizada nos testes (2,89 kg) foi determinada pela Equação 4.

4.10 Composição do solo e condicionadores testadas

4.10.1 Solo

O solo utilizado nos ensaios da Etapa 2 foi o mesmo utilizado na Etapa 1, com as características físico-químicas já descrita anteriormente.

4.10.2 Solo e condicionadores da Etapa 1

Após os ensaios da Etapa 1 foram definidas as melhores proporções de cada um dos 3 tipos de condicionador: Gel, 4 g/dm³; Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) de ação lenta, 7,1 g/dm³; Zeólita, 50 g/dm³. Estas proporções foram baseadas nos melhores resultados obtidos nos ensaios da Etapa 1 e nas informações e recomendações de cada fornecedor.

4.11 Teste de germinação

Após os ensaios da Etapa 1 e a definição das proporções ideais dos três condicionadores foram realizados os ensaios em estante de germinação, em ambiente climatizado ($23 \pm 3^\circ\text{C}$) com fotoperíodo controlado (12/12, luz/escuro), com sementes de 3

espécies de plantas e em triplicata e em duas composições de substrato distintas. As espécies foram testadas individualmente e cinco sementes de cada espécie foram utilizadas por pote.

As sementes utilizadas foram das espécies: *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) cultivar *Amarillo*, *Raphanus sativus* (rabanete) e *Lavandula angustifolia* (alfazema) (Apêndice B).

Após a semeadura, foram simulados eventos de chuva (irrigação) nos potes plásticos com água destilada, numa frequência de três vezes por semana. O volume utilizado em cada evento foi equivalente a uma de chuva de intensidade de 3,4 mm/h, com um período de retorno de dois meses (1997 a 2014), registrados pela Estação Telepluviométrica do bairro da Tijuca. O número de eventos de chuva foi baseado no tempo necessário para que as espécies fossem consideradas adultas, ou seja, de 30 a 60 dias (CARDOSO; HIRAKI, 2001; GARCÍA, 2013; SCHUSTER et al., 2014)

Para a contagem de plântulas germinadas foi seguida as instruções do Guia de Regras para Análise de sementes e a Instrução Normativa nº41 (Tabela 10) (BRASIL, 2009, 2013b).

Tabela 10 – Contagem de plantas germinadas.

Espécie	Período de germinação	
	Início	Final
<i>Arachis pintoi</i>	7	12
<i>Lavandula angustifolia</i>	7-10	21
<i>Raphanus sativus</i>	4	10

Adaptado de: BRASIL, 2009, 2013b.

4.12 Simulações e chuva com as espécies vegetais desenvolvidas

Após atingir a idade adulta (aproximadamente 30 dias para *R. sativus* e 60 dias para *L. angustifolia* e *A. pintoi*), foi feita uma pausa da irrigação por uma semana, porém com as plantas mantidas sem deficiência hídrica, antes da simulação da chuva de 57 mm/h (mesmo valor utilizado nos ensaios em colunas da Etapa 1), até que fossem percolados e coletados 400 mL.

Os ensaios foram realizados em triplicata com a presença de cada uma das espécies em solo puro e no solo e condicionadores da Etapa 1. Estes resultados foram comparados aos resultados obtidos nos 2 controles, ambos sem a presença de plantas. O primeiro controle foi o solo, vindo da Embrapa Agrobiologia. Este solo, já previamente caracterizado, e foi utilizado para verificar possíveis mudanças físico-químicas da água percolada. Este ainda foi utilizado como controle para os testes de germinação, sobrevivência e tamanho do caule e da raiz das plantas. O segundo controle realizado foi para analisar as modificações causadas com a presença das espécies de planta na água percolada, no solo e condicionadores da etapa 1 composto por solo + gel + fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) + zeólita.

4.13 Parâmetros físicos analisados

Os testes em potes plásticos com ou sem a presença de plantas e com dois meios distintos foram avaliados quanto a retenção hídrica em: (i) variação da altura da coluna de meio após a irrigação (Δh) (cm) (altura inicial – altura final); (ii) tempo de percolação (minutos) até que fossem atingidos os 400 mL; (iii) intensidade da percolação (mm/min); (iv) tempo adiamento do escoamento (minutos), tempo entre o início da chuva e a coleta do percolado, utilizando a intensidade de chuva simulada como base; (v) mm totais de chuva aplicada nas colunas; (vi) adiamento do volume de escoamento (mm de chuva), volume retido antes do escoamento da água pelo pote; e (vi) mm retidos após a rega calculados utilizando a equação (5).

4.14 Parâmetros físico-químicos analisados

Os parâmetros físico-químicos analisados com a água percolada resultante dos testes em potes plásticos foram os mesmos da Etapa 1 (coluna), porém nesta etapa também foram analisado os seguintes parâmetros: Nitrato (mg/L) e Amônia (mg/L) (APHA, 2012) e Fósforo total (mg/L) (kit TNT 844 da marca Hach®).

4.15 Dados biológicos analisados

Os dados biológicos obtidos com as três espécies de planta referentes aos testes de germinação e a produção de biomassa foram: (i) primeira germinação (dias); (ii) germinações finas (unidades/dia), segundo classificação do Guia de Regras para Análise de sementes (BRASIL, 2009); (iii) número de plantas germinadas por pote (unidade/pote); (iv) comprimento final da parte aérea (caule + folhas) e radicular (raízes) das plantas adultas (cm); (v) biomassa seca do caule e da raiz (estufa com ventilação da marca Nova Ética®, 65°C por 72 horas) (PEREIRA et al., 2011).

4.16 Análise estatística

O *software* utilizado para o tratamento dos dados obtidos foi o GraphPadPrism® v.5.0 (GraphPad software, Inc.). Para a análise dos parâmetros físicos (percolação e intensidade) e físico-químicos da Etapa 1 foi realizado o teste Two Way ANOVA seguido do teste de *Bonferroni*, para a indicação de possíveis diferenças significativas (TORINA et al., 2010). Para as análises dos parâmetros físicos (altura do substrato e mm total, retido e atrasado) da Etapa 1 e os dados biológicos (plantas emergidas) da Etapa 2, foi feito o teste One Way ANOVA seguido do teste de *Tukey*. Para os parâmetros físicos e físico-químicos da Etapas 2 usou-se o teste t. Os dados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão. As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$ (limite de confiança de 95%).

5 RESULTADOS

5.1 Teste de colunas – ETAPA 1

5.1.1 Gel

O controle (solo sem gel), assim como os três tratamentos com adição exclusivamente de gel retentor G2 (2,0 g/dm³), G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³), apresentaram diferenças significativas (comparação entre as médias) entre si para as seguintes parâmetros/variáveis físicas: (a) altura do meio na coluna após finalização da rega (Figura 13a); (b) adiamento do início do escoamento que variou de aproximadamente 23 min (controle) até 60 min (G6) (Figura 13b); (c) mm de água retidos antes do início da percolação, que variou de aproximadamente 22 mm (controle) até 57 mm (G6) (Figura 13c). A rega de 57 mm equivale a uma chuva de período de retorno de seis anos.

Com relação aos mm totais de água retidos em cada coluna após a rega, os tratamentos controle e G2 (2,0 g/dm³) não apresentaram diferenças significativas entre si (médias 9,7 e 37 mm, respectivamente); os tratamentos G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³) também não apresentaram diferença significativa entre si (médias 107,6 e 160,4 mm, respectivamente) (Figura 13e). Embora sem significância estatística, com base nos gráficos e nos valores médios pode-se observar uma tendência de retenção crescente que acompanha a quantidade crescente do gel retentor em cada coluna (Figura 13e).

Tendo em vista o fato de que o tratamento G4 (4,0 g/dm³) foi posteriormente repetido possuindo como única diferença a adição de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12), decidiu-se agregar estes dados ao tratamento G4 (4,0 g/dm³) sem fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) (Figura 13), com o único propósito de aumentar o número de amostras (n = 3 passou para n = 6) do parâmetro mm totais retidos. Ao fazê-lo e rodar novamente o teste *Tukey* (comparação entre as médias) obteve-se diferenças significativas entre os tratamentos G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³), como sugeridos pelas Figuras 13d e 13e.

A Figura 13f ilustra o tempo de percolação da água de chuva nos diferentes tratamentos (Controle, G2, G4 e G6) em três eventos consecutivos. Observa-se um aumento

do tempo de percolação da água, em minutos, com o aumento na concentração de gel. Não houve diferença significativa entre os eventos, e as concentrações G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³) tiveram os maiores tempos de percolação.

A Figura 13g mostra os mm retidos durante cada evento nos diferentes tratamentos (controle, G2, G4 e G6) em três eventos consecutivos. O controle mostrou uma redução significativa da quantidade retida de água nos eventos, indicando um início de saturação do solo. A presença de gel retentor gerou um aumento da água retida, principalmente no Evento 3, nas concentrações G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³)

A intensidade média da percolação (mm/min) nos quatro tratamentos (Controle, G2, G4 e G6) em três eventos consecutivos é apresentada na Figura 13h. A presença de gel retentor causou diferenças significativas, principalmente as concentrações G4 (4,0 g/dm³) e G6 (6,0 g/dm³). A concentração G2 (2,0 g/dm³) não apresentou diferença significativa do controle (solo sem gel).

A Figura 14 trata das características físico-químicas da água percolada, obtidas a partir de tratamento com diferentes concentrações de gel ao longo de três eventos de chuvas consecutivas.

Com relação à Condutividade, os valores foram muito maiores no percolado decorrente do primeiro evento (variando entre 2000 e 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo significativamente reduzido no percolado do segundo e do terceiro eventos que permaneceram iguais entre si em todos os tratamentos (Figura 14a). Tal resultado sugere que após uma intensa lixiviação inicial de cátions e ânions, o meio não contribui mais de forma relevantemente para a lixiviação destes elementos na água de escoamento. Tal resultado tem relevância do ponto de vista do manejo da água percolada e controle da poluição hídrica.

O oxigênio dissolvido (OD) permaneceu igual em todos os tratamentos e eventos (exceto G2, que apresentou uma concentração significativamente inferior aos demais). Os valores de oxigênio dissolvido variaram entre 4 e 6 mg/L em todos os tratamentos (Figura 14b). O pH apresentou uma leve tendência de elevação entre o 1º e o 3º evento (rega) em todos os tratamentos, mas a presença do gel também causou aumento no pH em todos os eventos (Figura 14c). Os tratamentos apresentaram um leve aumento das concentrações de SFT em todos os eventos (Figura 14g). Contudo, a série de sólidos (ST, SDT, SST, SFT, SVT) apresentou um padrão comum de redução de suas concentrações no percolado a medida que os eventos ocorreram (Figura 14d, 14e, 14f, 14g e 14h).

A turbidez (Figura 14i) da mesma forma que a série dos sólidos, apresentou tendência de redução no percolado à medida que os eventos ocorriam. Sendo que, particularmente no 1º evento, a turbidez apresentou uma correlação positiva com o aumento do teor de gel retentor.

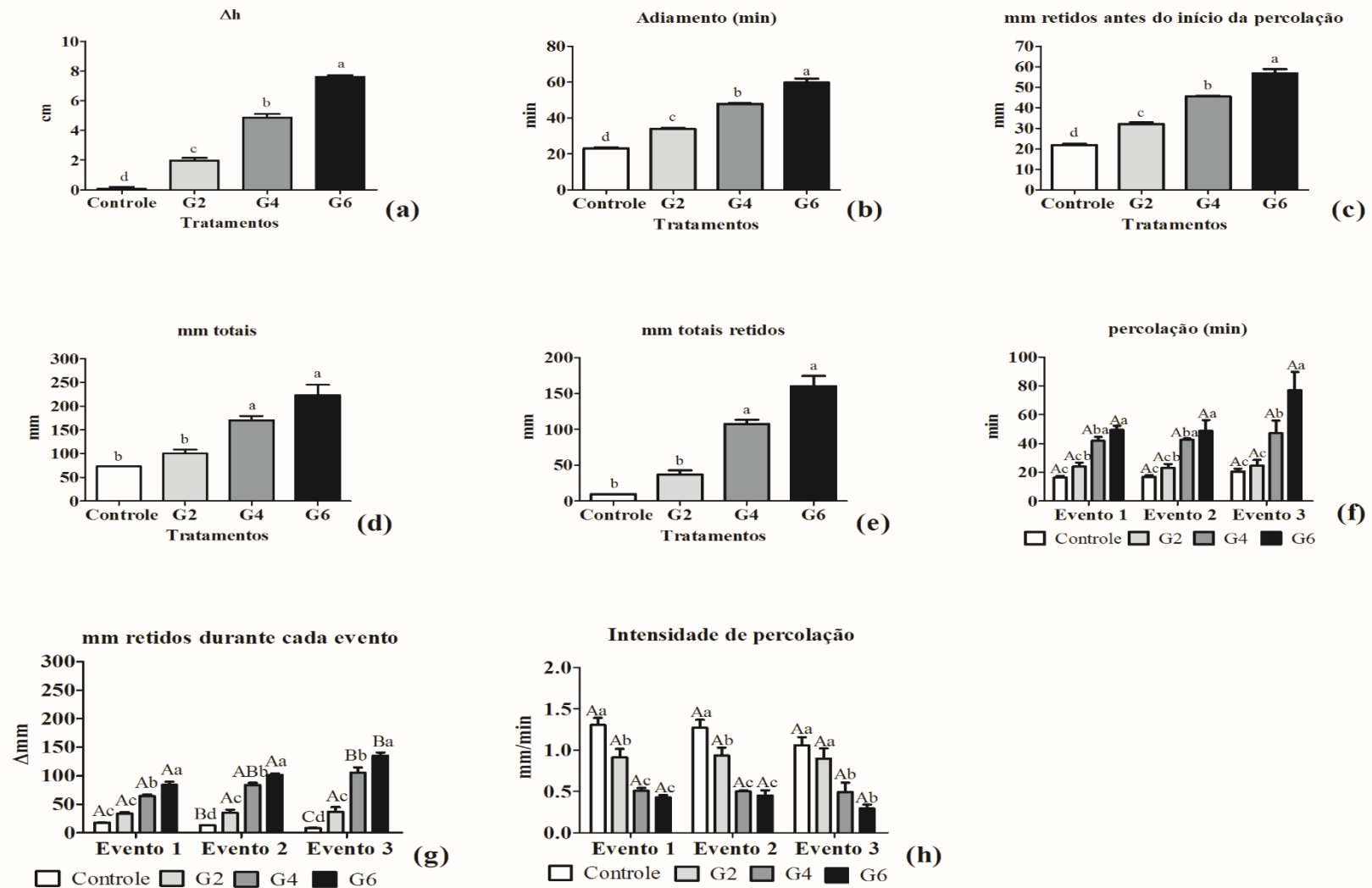


Figura 13 – Gráficos com média e desvios padrão das diferentes concentrações de gel ($G2 = 2,0 \text{ g/dm}^3$; $G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$; $G6 = 6,0 \text{ g/dm}^3$) em relação à retenção hídrica. Nos parâmetros (a) Δh (altura final da coluna), (b) adiantamento (tempo de escoamento adiado), (c) mm retidos antes do início da percolação, (d) mm totais empregados em cada coluna e (e) mm totais retidos (após a percolação), as mesmas letras minúsculas em tratamentos diferentes não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$). Nos parâmetros (f) tempo de percolação, (g) mm retidos durante cada evento e (h) intensidade de percolação, as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Bonferroni* ($p \leq 0,05$).

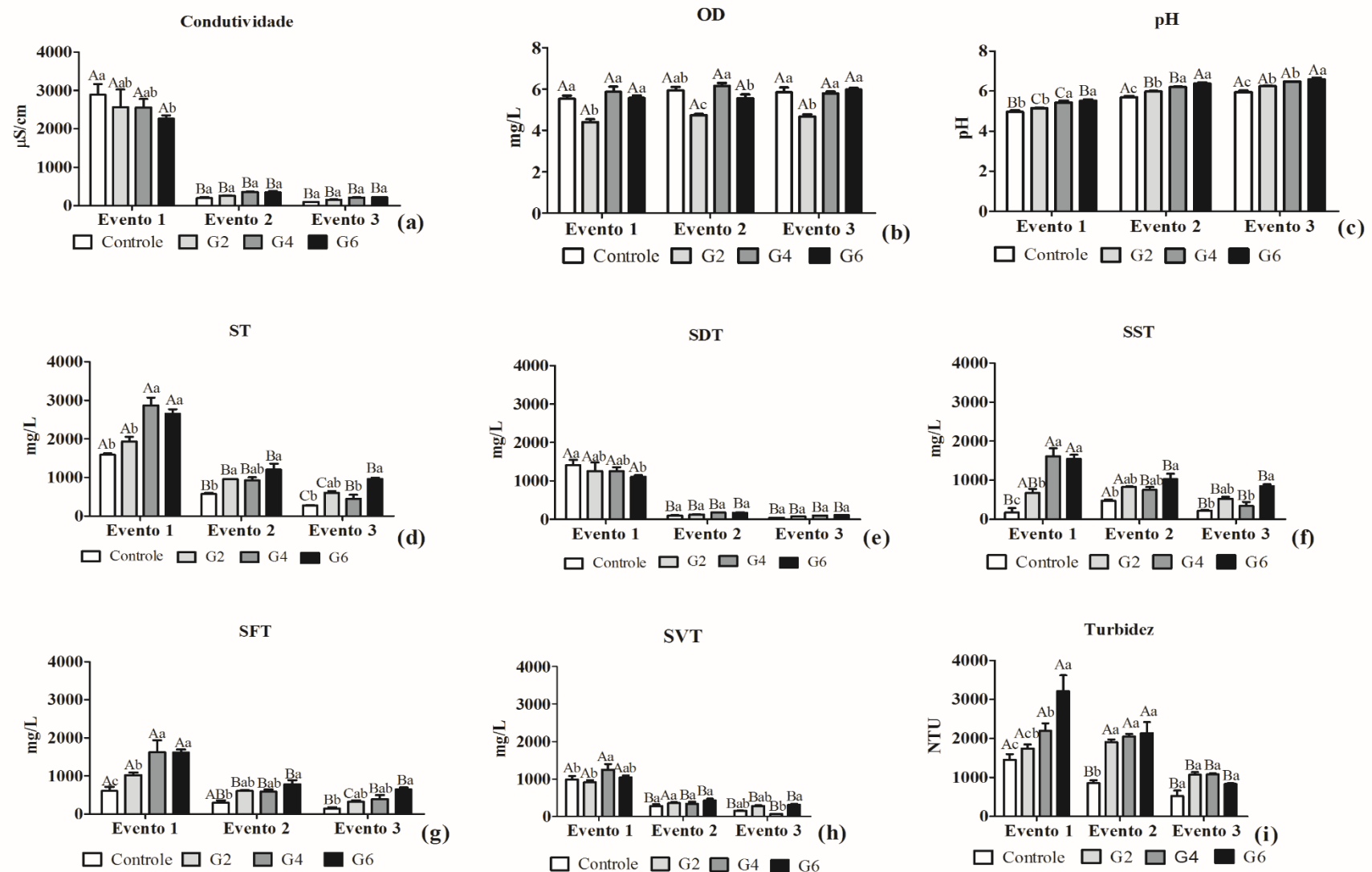


Figura 14 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes concentrações de gel ($G2 = 2,0 \text{ g/dm}^3$; $G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$; $G6 = 6,0 \text{ g/dm}^3$) em relação à qualidade da água percolada. Os parâmetros (a) condutividade; (b) OD (oxigênio dissolvido); (c) pH (potencial de hidrogênio); ST (sólidos totais); (e) SDT (sólidos dissolvidos totais); SST (sólidos suspensos totais); (g) SFT (sólidos fixos totais); (h) SVT (sólidos voláteis totais); (i) turbidez, com as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Bonferroni* ($p \leq 0,05$).

5.1.2 Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12)

Conforme esperado, a adição de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) nas diferentes concentrações F4,7 (4,7 g/dm³), F7,1 (7,1 g/dm³) e F9,0 (9,0 g/dm³), mantendo-se a concentração de gel retentor G4 (4,0 g/dm³) constante, resultou em capacidade de retenção hídrica similar aos observados no tratamento G4 sem fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) (Figura 13). Tais resultados foram apresentados na Figura 15a-h.

Na caracterização físico-química da água percolada apenas os parâmetros oxigênio dissolvido, que apresentou um aumento significativo na concentração F7,1 (7,1 g/dm³), e pH, que teve uma diminuição significativa nas concentrações F7,1 (7,1 g/dm³) e F9,0 (9,0 g/dm³), sofreram modificações em relação a presença de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) (Figura 16).

Em resumo, a adição de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12), ainda que em concentrações variáveis, conforme esperado, não alterou os fenômenos associados à retenção hídrica, e alterou pouco as características físico-químicas da água percolada.

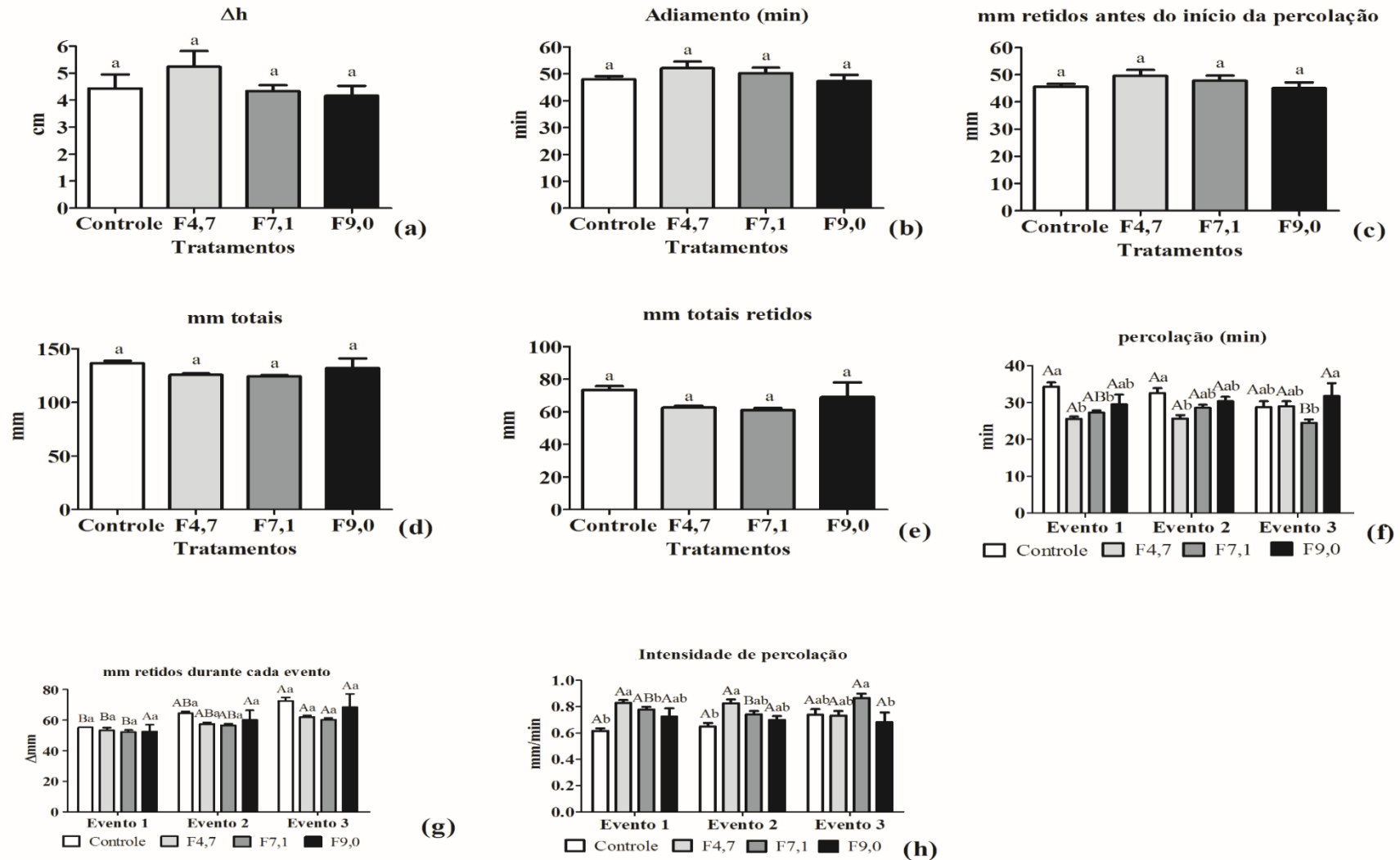


Figura 15 – Gráficos com média e desvios padrão dos diferentes tratamentos com gel retentor ($G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$) e as concentrações de fertilizante ($F4,7 = 4,7 \text{ g/dm}^3$; $F7,1 = 7,1 \text{ g/dm}^3$; $F9,0 = 9,0 \text{ g/dm}^3$) em relação à retenção hídrica. Nos parâmetros (a) Δh (altura final da coluna), (b) adiamento (tempo de escoamento adiado), (c) mm retidos antes do início da percolação, (d) mm totais empregados em cada coluna e (e) mm totais retidos (após a percolação), as mesmas letras minúsculas em tratamentos diferentes não são significativamente diferentes, segundo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Nos parâmetros (f) tempo de percolação, (g) mm retidos durante cada evento e (h) intensidade de percolação, as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de Bonferroni ($p \leq 0,05$).

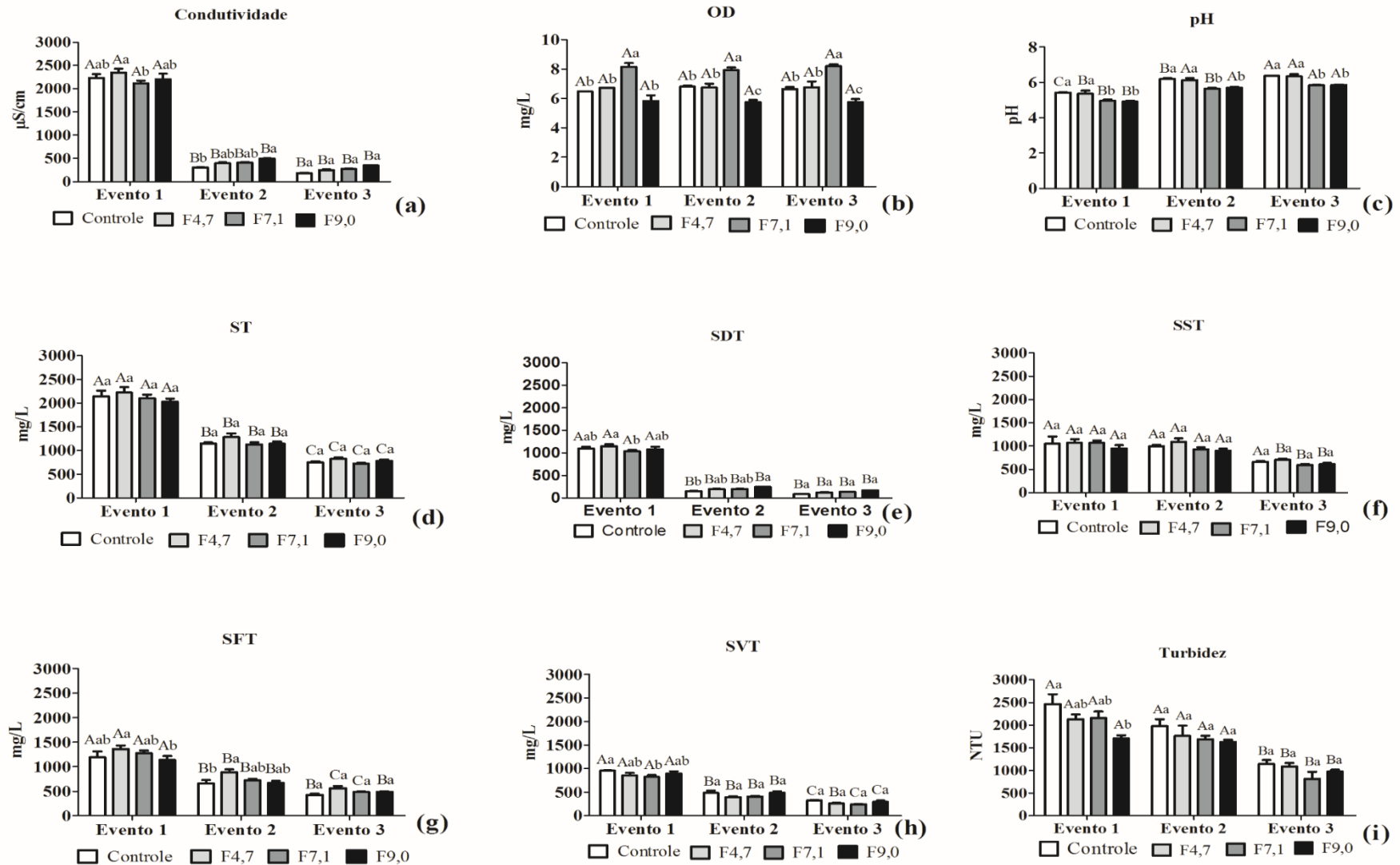


Figura 16 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes tratamentos com gel retentor ($G4 = 4,0 \text{ g}/\text{dm}^3$) e concentrações de fertilizante ($F4,7 = 4,7 \text{ g}/\text{dm}^3$; $F7,1 = 7,1 \text{ g}/\text{dm}^3$; $F9,0 = 9,0 \text{ g}/\text{dm}^3$) em relação à qualidade da água percolada. Os parâmetros (a) condutividade; (b) OD (oxigênio dissolvido); (c) pH (potencial de hidrogênio); ST (sólidos totais); (e) SDT (sólidos dissolvidos totais); SST (sólidos suspensos totais); (g) SFT (sólidos fixos totais); (h) SVT (sólidos voláteis totais); (i) turbidez, com as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Bonferroni* ($p \leq 0,05$).

5.1.3 Zeólita

A Figura 17 ilustra o efeito da variável quantidade de zeólita ($Z30 = 30 \text{ g/dm}^3$, $Z50 = 50 \text{ g/dm}^3$, $Z70 = 70 \text{ g/dm}^3$) com valor constante de gel ($G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$) e de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) ($F7,1 = 7,1 \text{ g/dm}^3$). O controle da Figura 17 equivale ao tratamento F7,1 da Figura 15 (ausência de zeólita). A adição de zeólita aumentou a retenção hídrica a partir de 50 g/dm^3 , entretanto, a contribuição sobre a retenção produzida pelo gel aparentemente não é relevante o suficiente para justificar o custo envolvido com a adição da mesma.

A mesma tendência de redução de pH, sólidos e turbidez observados na ausência de zeólita (apenas gel 4 g/dm^3 e fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) $7,1 \text{ g/dm}^3$, Figura 16) foi observada com a adição de zeólita independentemente da concentração da mesma, ou seja, a adição de zeólita não altera de forma relevante o padrão de lixiviação dos compostos presentes no solo e condicionadores (Figura 18). Somente houve um aumento na concentração de oxigênio dissolvido nos tratamentos Z30 (30 g/dm^3) e Z50 (50 g/dm^3) (Figura 18b).

Em suma, na ETAPA 1, a adição do gel aumentou de forma significativa a altura do solo e condicionadores, em consequência da expansão do gel, com aumento significativo da retenção hídrica, adiamento do início do escoamento, constituindo-se, portanto, em uma contribuição relevante para o uso de TVs como medida compensatória que pode contribuir para o controle de enchentes. Conforme esperado, a adição de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) em diferentes concentrações não alterou os parâmetros físicos, mas alterou de forma significativa a qualidade do percolado, sendo tal alteração mais relevante ao final do evento 2 conduzido. A adição de fertilizantes, portanto, deve ser fortemente justificado para promover o crescimento vegetal e em doses mínimas necessárias para tal promoção. A adição de zeólita contribuiu de forma significativa para o aumento da retenção hídrica mas tal contribuição não se justifica tendo em vista o custo adicional e o efeito relevante já obtido apenas com a adição do gel retentor.

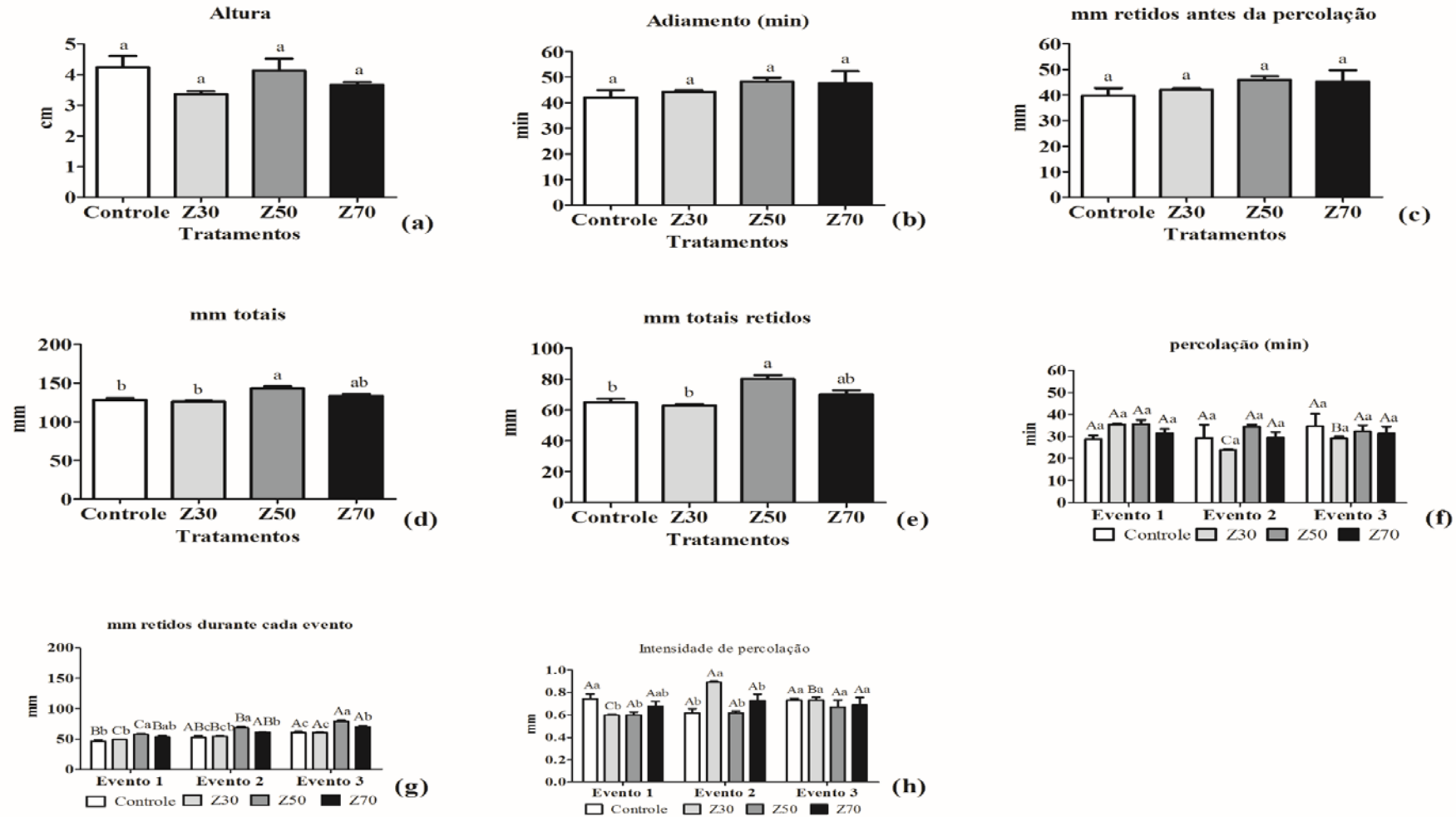


Figura 17 – Gráficos com média e desvios padrão dos diferentes tratamentos com gel retentor ($G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante ($F7,1 = 7,1 \text{ g/dm}^3$) e as concentrações de zeólita ($Z30 = 30 \text{ g/dm}^3$; $Z50 = 50 \text{ g/dm}^3$; $Z70 = 70 \text{ g/dm}^3$) em relação à retenção hídrica. Nos parâmetros (a) Δh (altura final da coluna), (b) adiamento (tempo de escoamento adiado), (c) mm retidos antes do início da percolação, (d) mm totais empregados em cada coluna e (e) mm totais retidos (após a percolação), as mesmas letras minúsculas em tratamentos diferentes não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$). Nos parâmetros (f) tempo de percolação, (g) mm retidos durante cada evento e (h) intensidade de percolação, as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Bonferroni* ($p \leq 0,05$).

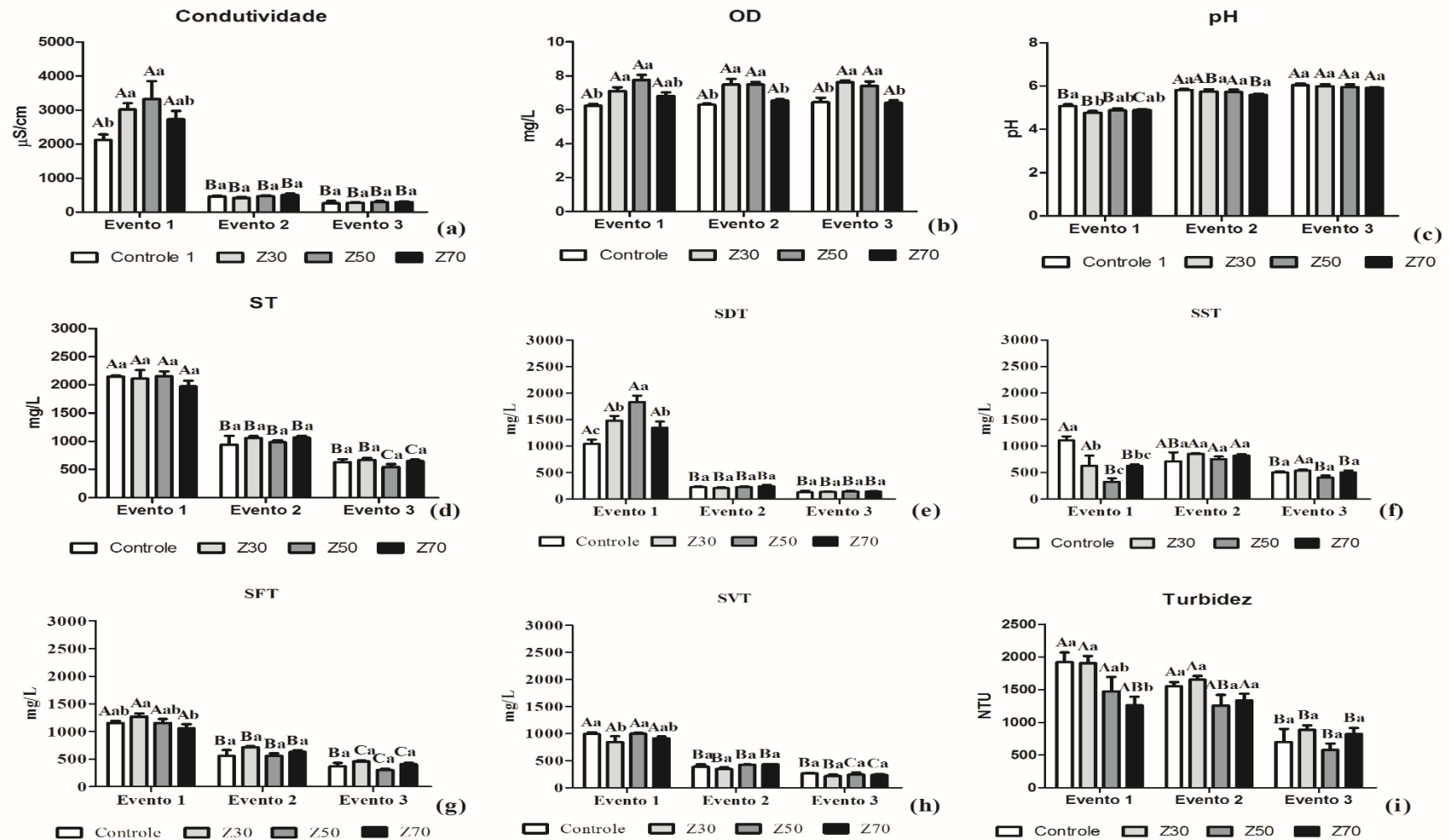


Figura 18 - Gráficos com média e desvios padrão das diferentes tratamentos com gel retentor ($G4 = 4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante ($F7,1 = 7,1 \text{ g/dm}^3$) e concentrações de zeólita ($Z30 = 30 \text{ g/dm}^3$; $Z50 = 50 \text{ g/dm}^3$; $Z70 = 70 \text{ g/dm}^3$) em relação à qualidade da água percolada. Os parâmetros (a) condutividade; (b) OD (oxigênio dissolvido); (c) pH (potencial de hidrogênio); ST (sólidos totais); (e) SDT (sólidos dissolvidos totais); SST (sólidos suspensos totais); (g) SFT (sólidos fixos totais); (h) SVT (sólidos voláteis totais); (i) turbidez, com as mesmas letras minúsculas dentro de cada evento e mesmas letras maiúsculas de cada tratamento entre eventos não são significativamente diferentes, segundo Teste de *Bonferroni* ($p \leq 0,05$).

5.2 Teste de germinação e percolação em estante – ETAPA 2

Na ETAPA 2, foram realizados testes de germinação, crescimento vegetal e regas com controle da percolação em vasos plásticos, simulando um telhado verde, com as espécies de planta *R. sativus* (experimento finalizado aos 30 dias), *A. pintoi* e *L. angustifolia* (experimentos finalizados aos 60 dias) em solo apenas (Controle) e com solo e condicionadores, cujos valores foram selecionados a partir dos resultados obtidos na ETAPA 1 (4g/dm³ de gel; 7,1 g/dm³ de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12); 50 g/dm³ de zeólita) (Tabela 11).

Tabela 11 – Quantidades selecionadas de condicionadores para compor vasos com plantas – ETAPA 2.

Componente/Variável	Nível da Variável testado	Quantidade por coluna
Gel retentor	4,0 g/dm ³	7,08 g
Fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12)	7,1 g/dm ³	12,57 g
Zeolita	50,0 g/dm ³	88,50

Os experimentos com as três espécies de plantas tiveram início no dia 09 de setembro de 2014. Após 30 dias (08 de outubro de 2014) os vasos que continham a espécie *R. sativus* foram irrigados com uma chuva simulada de aproximadamente 57 mm/h. Após 60 dias (10 de novembro de 2014) os vasos que continham as espécies *A. pintoi* e *L. angustifolia* foram irrigados com a mesma chuva (aproximadamente 57 mm/h).

Durante o período de germinação (30 ou 60 dias, dependendo da espécie) foram avaliados os parâmetros biológicos/biométricos apresentados a seguir.

Após o período de germinação, foram avaliados os parâmetros físicos e físico-químicos nos testes de percolação em vasos com ou sem plantas e na presença de solo e de solo e condicionadores.

A Tabela 11 apresenta as quantidades selecionadas para serem aplicadas nos vasos – ETAPA 2 para a avaliação da retenção hídrica e qualidade da água escoada na presença ou ausência das plantas.

5.2.1 Germinação, crescimento e peso das plantas

As espécies *R. sativus*, *L. angustifolia* e *A. pinto*i não apresentaram diferenças na germinação de plântulas em meio com solo apenas (Controle) e em solo com condicionadores (Figuras 19a, 19b e 19c). Contudo, ao se calcular o número de plantas sobreviventes ao final do experimento, observou-se que a espécie *R. sativus* teve um maior número plantas sobreviventes (média de 3 plantas sobreviventes em meio com solo e média de 2 plantas em meio solo e condicionadores) em relação às demais espécies (*A. pinto*i teve 2 plantas sobreviventes em meio com solo e 1 planta sobrevivente em meio solo e condicionadores; *L. angustifolia* não apresentou nenhum sobrevivente em ambos os meios). Com relação á espécie *L. angustifolia* foi observado a germinação de plântulas até o 21º dia após sua semeadura nos meios, contudo, estas plântulas não conseguiram sobreviver até atingirem a idade adulta (Figura 19d).

Com a morte das plântulas de *L. angustifolia* antes de atingir a idade adulta, esta espécie não foi mais mencionada nas análises posteriores, sendo investigadas apenas as espécies *R. sativus* e *A. pinto*i.

O comprimento do caule de *R. sativus* não apresentou diferença significativa entre os meios (média de comprimento de 9,0 cm em solo e 9,4 cm em solo e condicionadores) (Figura 19e).

A Figura 18f sugere uma diferença entre o comprimento do caule de *A. pinto*i em relação aos meios (18,5 cm em solo e 12,4 cm em solo e condicionadores). Contudo os testes estatísticos demonstraram diferenças não significativas ($p=0,05$).

O comprimento do caule de *R. sativus* não apresentou diferença estatística entre os dois meios (comprimento médio de 3,0 cm de raiz no solo e de 4,5 cm em solo e condicionadores) (Figura 19g).

A espécie *A. pinto*i apresentou diferença estatisticamente significativa quanto ao comprimento de suas raízes, com um menor comprimento em meio solo e condicionadores (8,1 cm em solo e 4,1 cm em solo e condicionadores) (Figura 19h).

O pouco crescimento da raiz em solo com condicionadores possui duas explicações. A primeira explicação está relacionada à presença de água no meio. A raiz de *A. pinto*i é do tipo pivotante, que possui capacidade de extrair água de camadas profundas do solo em condições menos favoráveis (LUDWIG et al., 2010). Como, já mencionado anteriormente, o meio solo e condicionadores possui gel retentor que absorve bastante água, aumentando sua

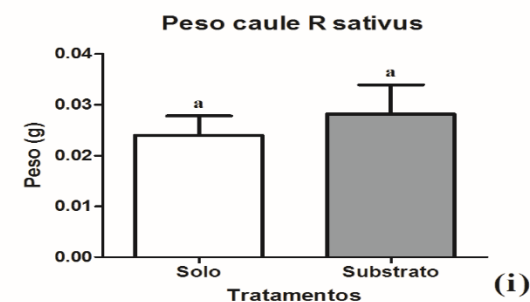
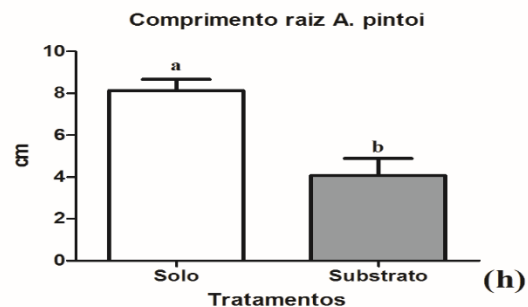
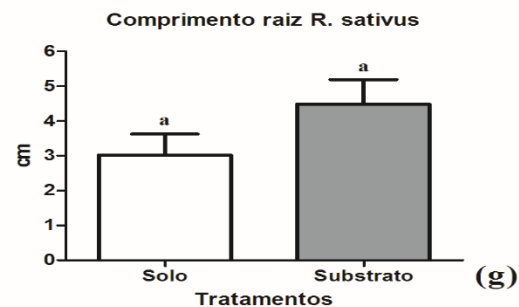
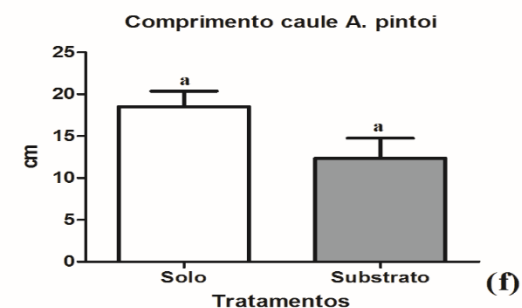
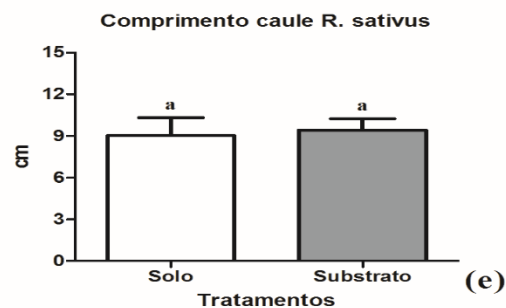
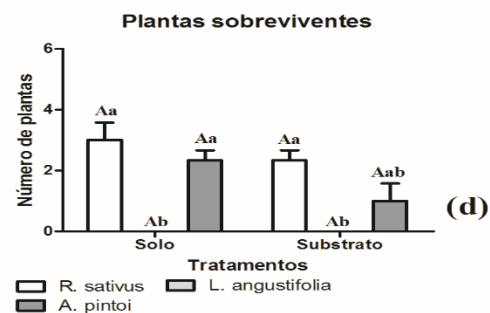
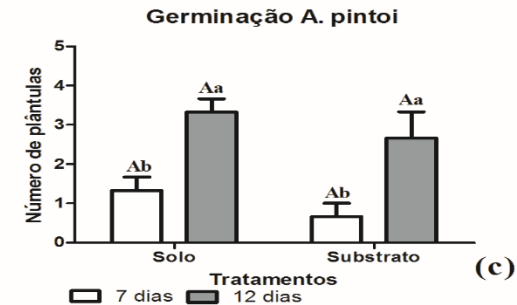
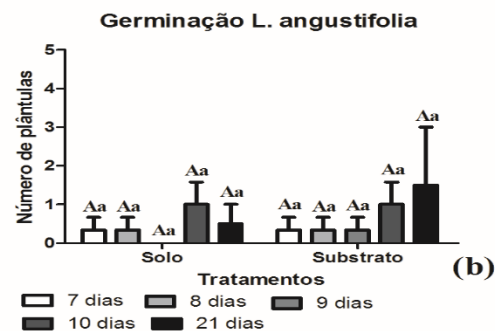
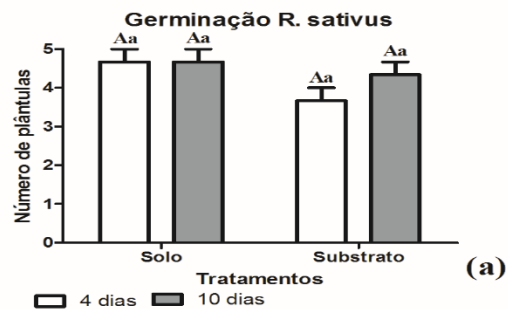
disponibilidade entre um período de rega e outro. Esse mesmo comportamento não ocorre em um meio apenas com solo, sendo necessário um crescimento maior da raiz para encontrar água.

A segunda explicação está ligada à grande quantidade de amônia liberada pelo fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12), que pode ser identificada na análise da água percolada mais a frente. A presença de grandes quantidades de amônia pode ser fitotóxica, causando, entre outros sintomas, diminuição do comprimento e volume da raiz (SILVA; COUTO; SANTOS, 2010).

O peso do caule de *R. sativus* e *A. pinto*i não teve diferença estatisticamente significativa nos dois diferentes meios de crescimento (Figura 19i, 19j).

O peso da raiz de *R. sativus* foi maior significativamente em solo e condicionadores (peso médio em meio solo de 0,01g e peso médio em meio solo e condicionadores de 0,03 g) (Figura 19k). Este aumento de peso da raiz é explicado pela grande concentração de nitrato no meio. A falta de nitrogênio afeta o desenvolvimento da planta, pois este é considerado um fator limitante para seu crescimento e produtividade (ARAÚJO et al., 2013; BONIFACIO et al., 2014).

O menor peso da raiz em meio solo e condicionadores de *A. pinto*i pode ser explicado da mesma forma que o seu menor comprimento da raiz (Figura 19l).



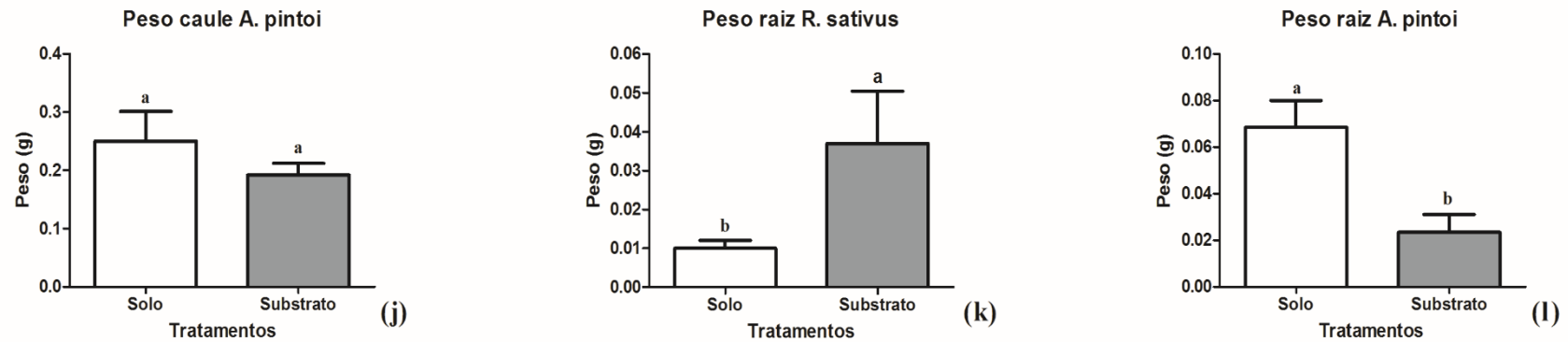


Figura 19 – Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante. Os parâmetros (a) germinação *R. sativus*; (b) germinação *L. angustifolia*; (c) germinação *A. pintoi*; (d) plantas sobreviventes, com as mesmas letras minúsculas dentro de cada meio e mesmas letras maiúsculas de cada espécie entre meios não são significativamente diferentes, segundo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os parâmetros (e) comprimento do caule *R. sativus*; (f) comprimento do caule *A. pintoi*; (g) comprimento da raiz *R. sativus*; (h) comprimento da raiz *A. pintoi*; (i) peso do caule *R. sativus* (j) peso do caule *A. pintoi*; (k) peso da raiz *R. sativus*; (l) peso da raiz *A. pintoi*, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$)

5.2.2 Testes físicos e físico-químicos

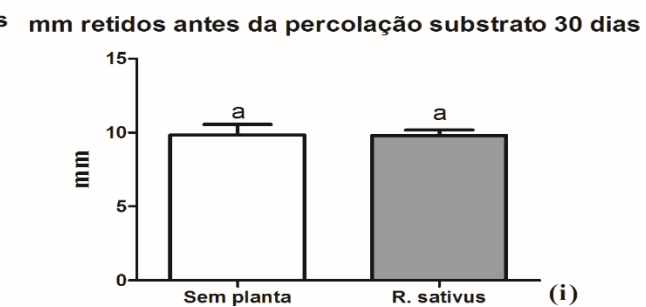
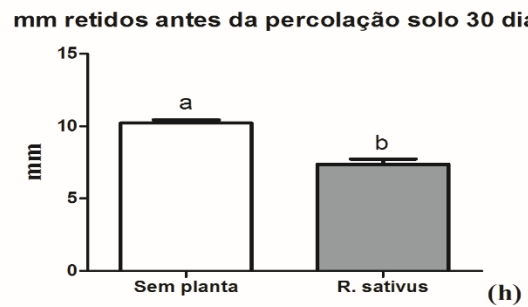
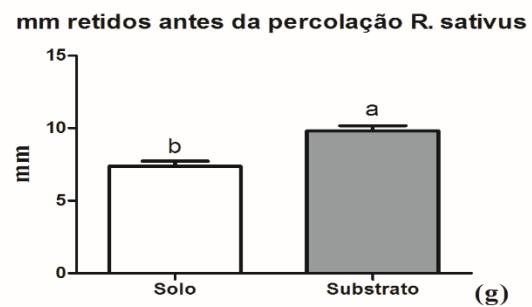
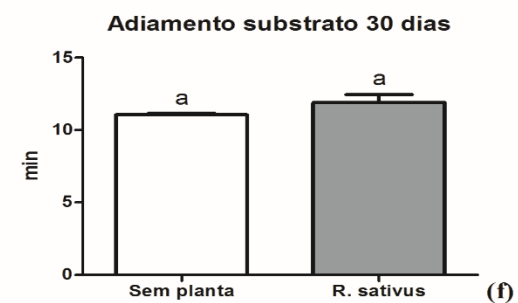
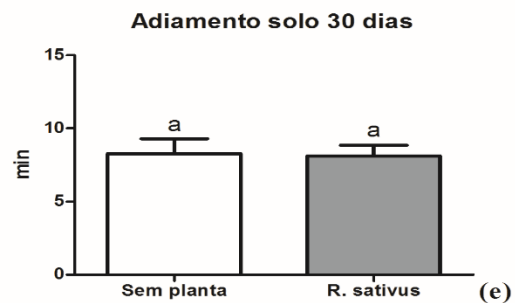
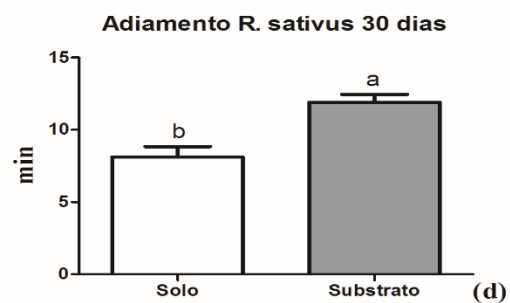
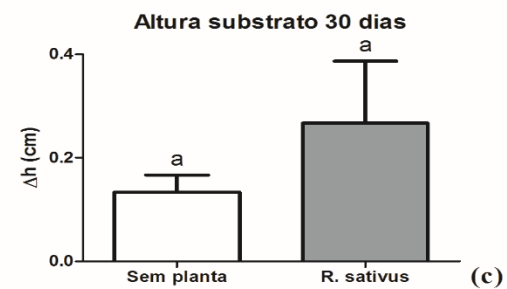
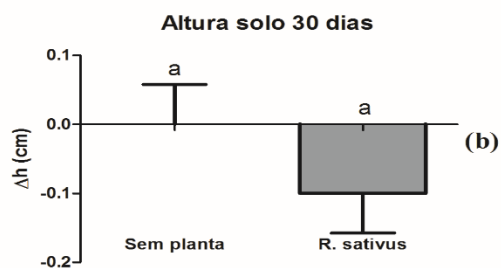
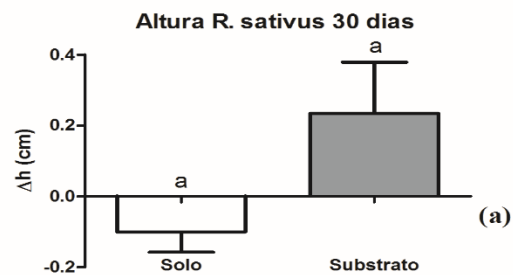
Como mencionado, *R. sativus* e *A. pintoi* tiveram tempo de exposição distinta aos meios, antes da rega (57mm/h) com análise do percolado. Enquanto *R. sativus* ficou 30 dias, *A. pintoi* permaneceu por 60 dias. Isto levou à separação, para melhor compreensão, das análises de parâmetros relacionados à retenção hídrica e dos parâmetros físico-químicos da água percolada, em tempo de cultivo/espécie de planta.

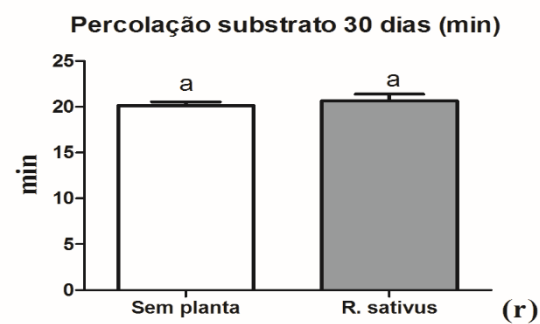
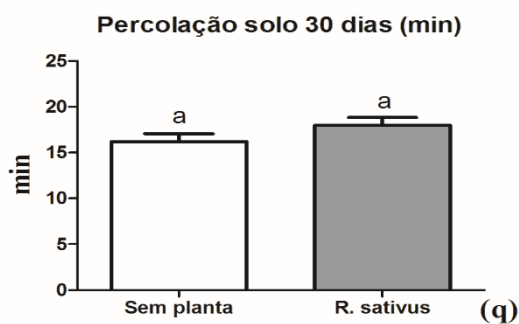
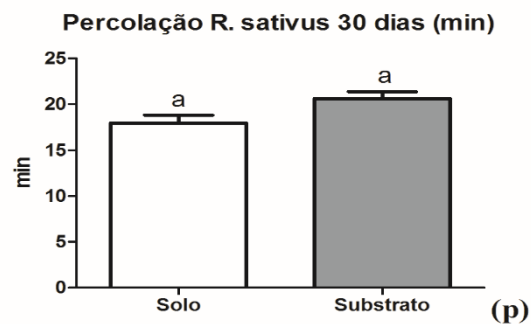
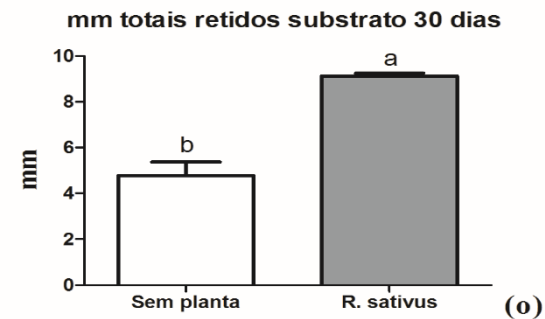
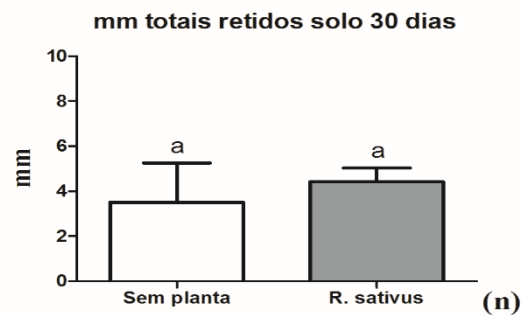
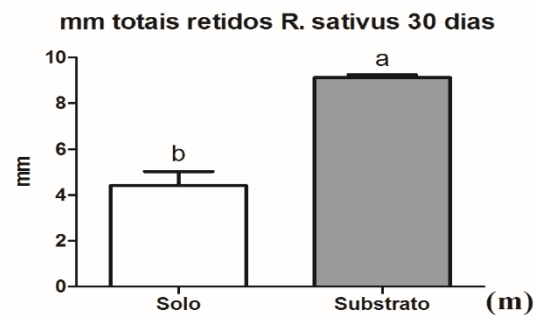
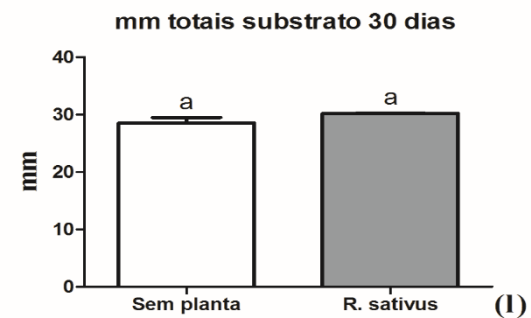
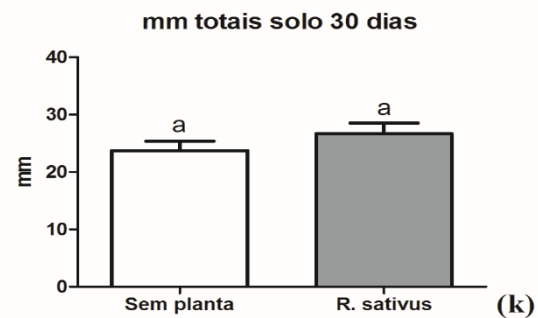
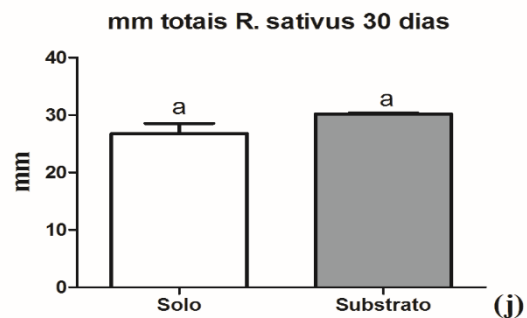
Foram estudados três efeitos: o efeito da associação solo e condicionadores, o efeito da presença versus ausência de planta e o efeito associado da presença da planta e de condicionadores no solo. Os vasos com solo sem condicionadores e com condicionadores, na ausência de plantas foram os controles desta etapa.

No solo com condicionadores aos 30 dias, o qual funcionava com suporte e fonte de água e nutrientes para a espécie *R. sativus*, apresentou uma diferença significativa em relação à capacidade de retenção hídrica. Este meio teve um maior adiamento (em minutos) de percolação (11,9 min em solo e condicionadores; 8,1 min em solo); maior quantidade de mm retidos antes da percolação (9,8 mm em solo e condicionadores e 7,4 mm em solo); maior quantidade de mm totais retidos após a rega de 57 mm/h (9,1 mm em solo e condicionadores e 4,4 mm em solo) (Figuras 20 d, g, m).

A espécie *R. sativus* quando analisada em relação ao seu efeito sobre o solo somente, reduziu significativamente os mm retidos antes do início da percolação (7,4 mm em solo com a planta e 10,2 em solo sem planta) e intensidade em mm/min, de água percolada (1,1 mm/min em meio com solo e planta; 1,3 mm/min em solo sem planta) (Figuras 20 h, n).

Quando associada ao solo e condicionadores, esta espécie aumenta a quantidade de mm retidos após a rega de 57 mm/h (9,1 mm em solo e condicionadores e planta; 4,8 em solo e condicionadores sem planta) (Figura 20o).





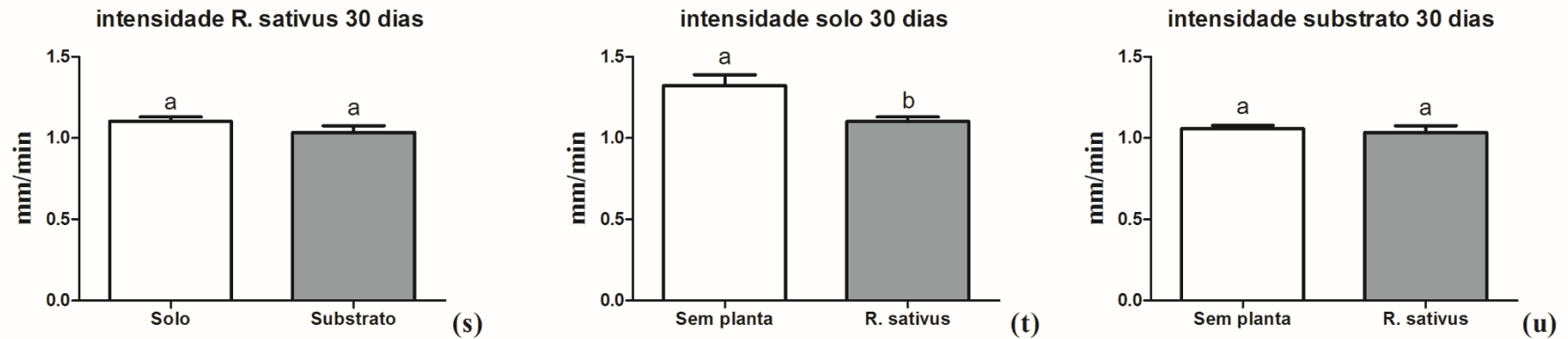


Figura 20 – Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, relativos à geração de percolado de vasos com solo com e sem condicionadores (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *R. sativus*. Os parâmetros (a, b, c) altura do meio na vaso após a rega; (d, e, f) adiamento do escoamento (min); (g, h, i) mm retidos antes do início da percolação; (j, k, l) mm totais empregados em cada vaso; (m, n, o) mm totais retidos; (p, q, r) tempo de percolação por vaso(min); (s, t, u) intensidade média (mm/min) de cada evento/concentração de gel, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$)

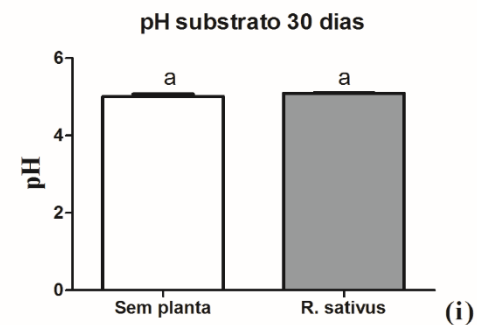
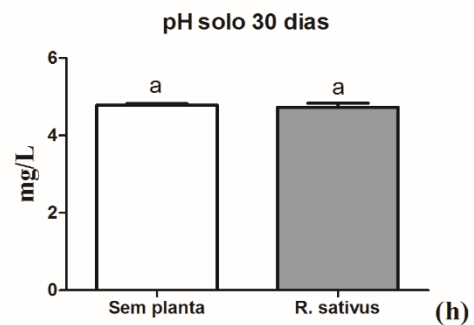
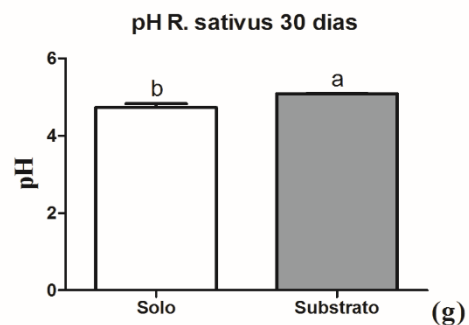
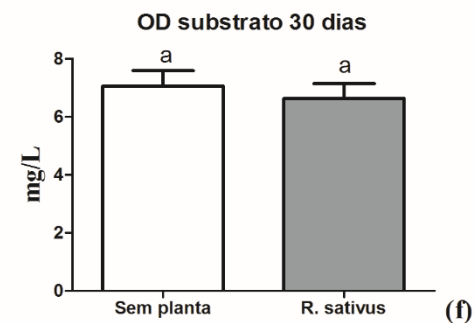
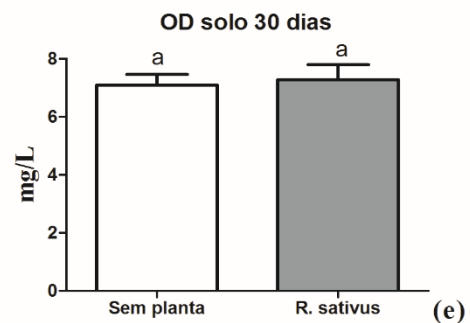
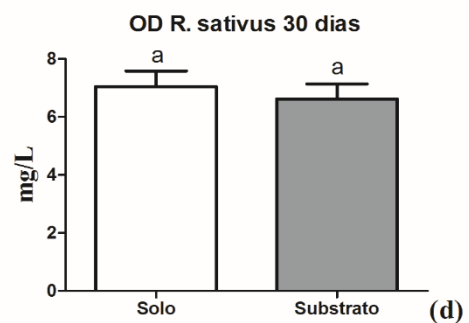
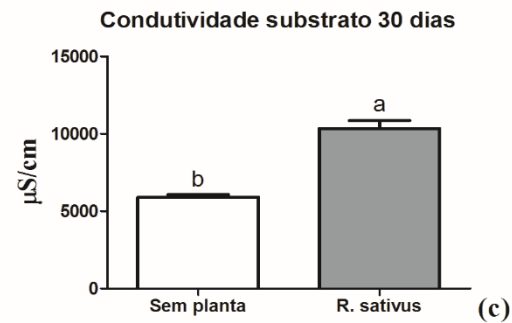
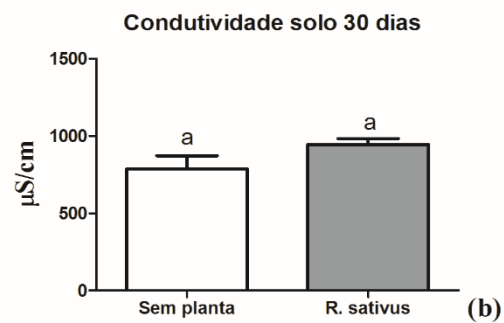
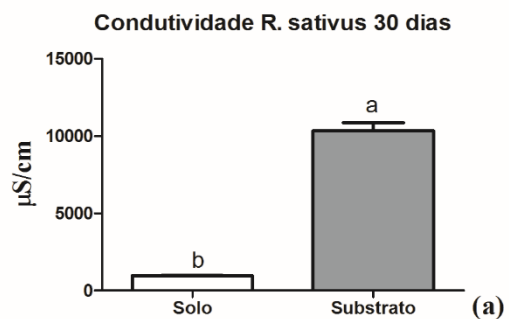
Embora tenha atuado na retenção hídrica, a água percolada do solo com condicionadores apresentou valores significativamente superiores à água percolada do solo sem condicionadores para condutividade (10346,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em solo e condicionadores e 945 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em solo somente) (Figura 21). Este comportamento também foi observado para a série de sólidos (ST, SDT, SST, SFT e SVT) e para turbidez (Figura 21 a, g, j, m, p, s, v, y). Tal aumento foi relacionado à presença de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12), embora o mesmo seja de liberação lenta, ocasionou um aumento substancial nas concentrações desses parâmetros. Cabe ressaltar que a rega aplicada em todos os experimentos foi consideravelmente alta e que chuvas de intensidade e duração inferiores provavelmente não devem promover lixiviação tão proeminente.

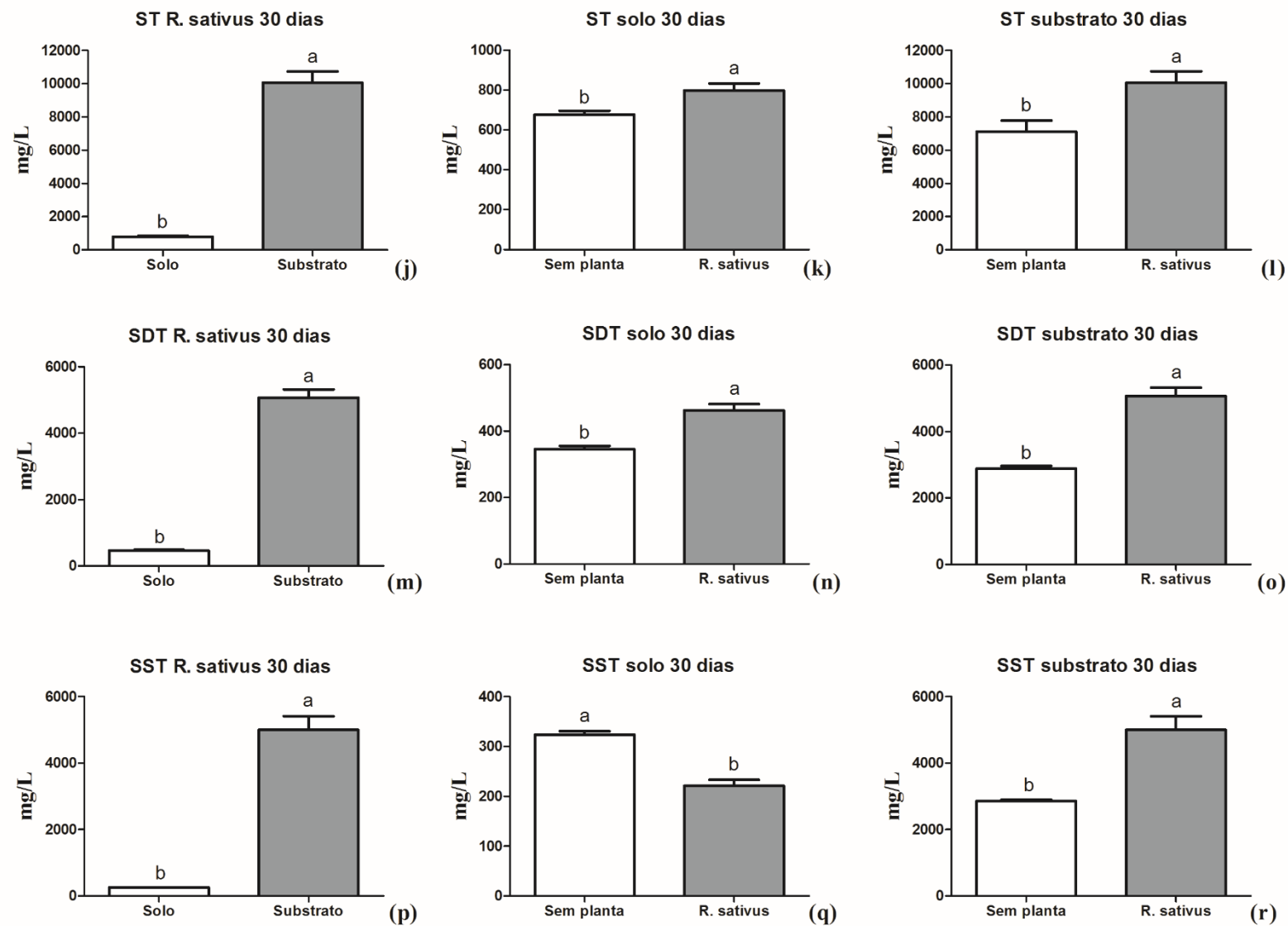
O pH da água percolada pelo meio solo com condicionadores (pH = 5,1) apresentou um aumento significativo em relação ao pH da água percolada pelo solo somente (pH = 4,7) (Figura 21 g). Esse aumento no pH pode ser considerado um efeito positivo, principalmente quando o escoamento tem descarga em corpo hídrico. Segundo a resolução Conama No 430 de 2011, o efluente, de qualquer fonte, precisa apresentar um pH entre 5 e 9.

A presença da planta *R. sativus* em solo aumentou significativamente a concentração de ST no percolado, quando comparada ao solo sem planta (798,3 mg/L em água percolada em solo com planta; 676,7 mg/L em água percolada apenas com solo) e SDT (462 mg/L em água percolada em solo com a planta; 345 mg/L em água percolada em solo sem planta) (Figura 21 k, n).

Em contrapartida, a presença de *R. sativus* reduziu os níveis de SST (220,7 mg/L em água percolada em solo com a planta; 323,3 mg/L em água percolada de solo sem planta) e SVT (276,7 mg/L em água percolada de solo com planta; 486,7 mg/L em água percolada de solo apenas) (Figura 21 q, w). A diminuição de SST e SVT sugere que a planta fez uso de nutrientes para seu metabolismo e crescimento.

Quando a água escoada é proveniente do solo com condicionadores e a espécie *R. sativus*, esta apresenta aumentos significativos da condutividade, série de sólidos e turbidez em relação a água escoada em solo com condicionadores sem planta (Figura 21 c, l, o, r, u, x, a1).





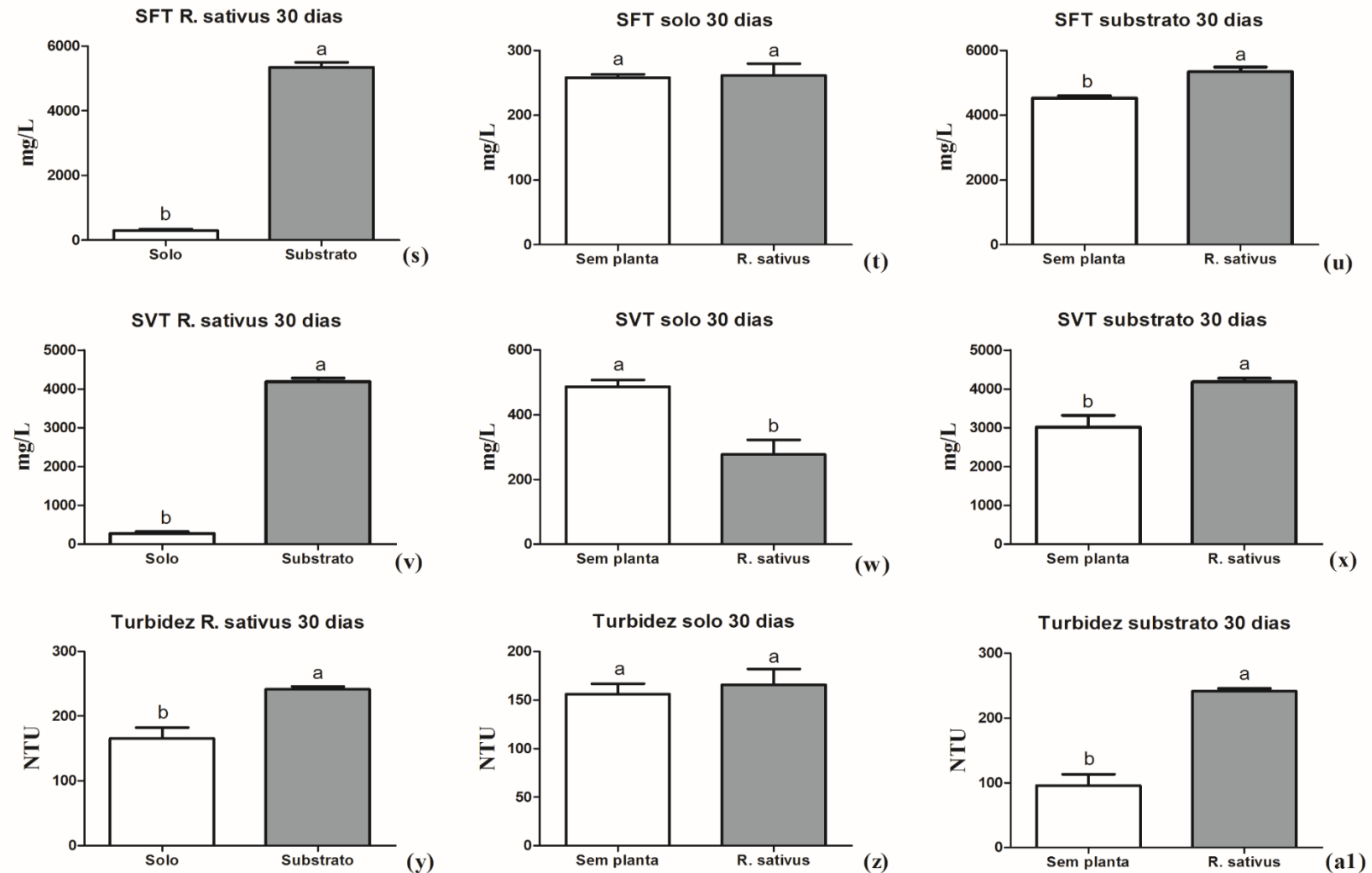


Figura 21 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo e substrato (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *R. sativus*. Os parâmetros (a, b, c) condutividade; (d, e, f) OD (oxigênio dissolvido); (g, h, i) pH (potencial de hidrogênio); (j, k, l) ST (sólidos totais); (m, n, o) SDT (sólidos dissolvidos totais); (p, q, r) SST (sólidos suspensos totais); (s, t, u) SFT (sólidos fixos totais); (v, w, x) SVT (sólidos voláteis totais); (y, z, a1) turbidez, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$).

A presença de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) aumentou significativamente a concentração de nitrato (18235,3 mg/L na água percolada do solo com condicionadores; 69,8 mg/L na água percolada do solo somente); amônia (274,1 mg/L na água percolada do solo com condicionadores; 5,4 mg/L na água percolada do solo somente) e fósforo total (26,0 mg/L na água percolada do solo com condicionadores; 1,0 mg/L na água percolada do solo somente) (Figura 22 a, d, e).

A presença da espécie *R. sativus* não resultou em diferenças significativas na concentração de nitrato, amônia e fósforo total na água percolada em meio solo (Figura 22 b, e, h). Contudo, quando tal espécie foi cultivada em solo com condicionadores, a água percolada apresentou um aumento significativo nas concentrações de nitrato (18235,3 mg/L em água percolada em solo com condicionadores e planta; 9918,3 mg/L em água percolada em apenas solo com condicionadores sem planta) e amônia (274,1 mg/L em água percolada de solo com condicionadores e planta; 131,7 mg/L em água percolada apenas de solo com condicionadores sem planta) (Figura 22 c, f).

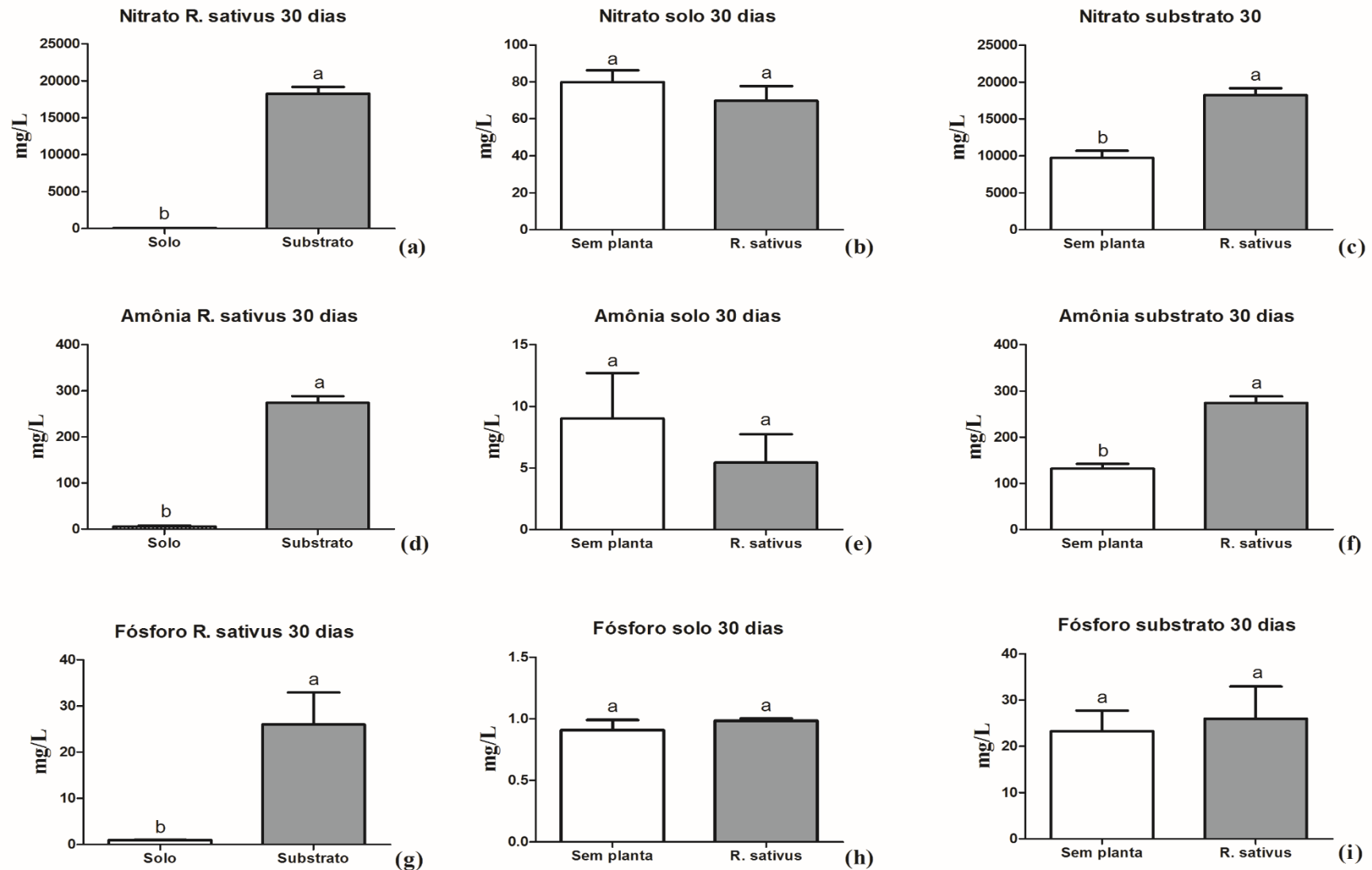
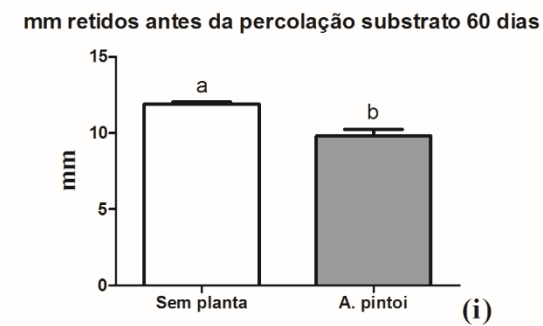
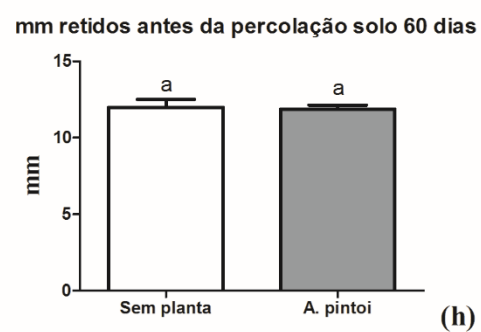
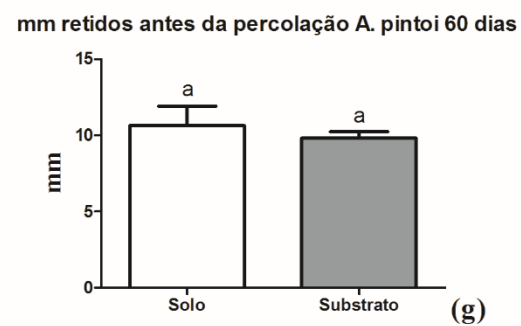
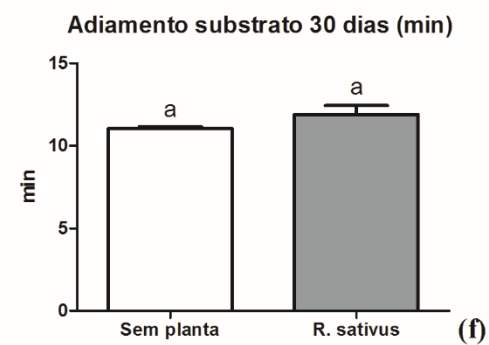
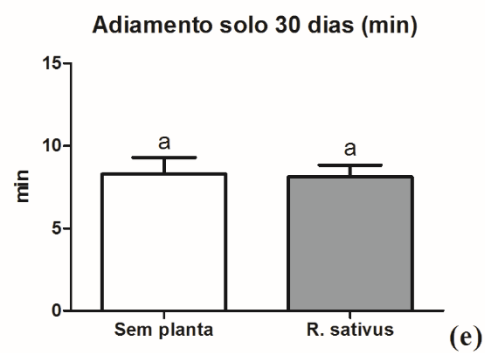
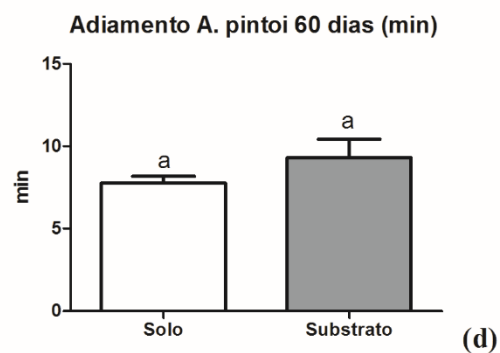
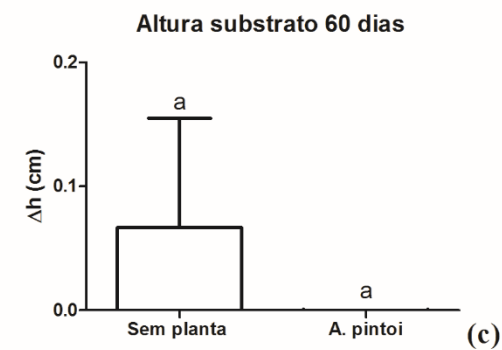
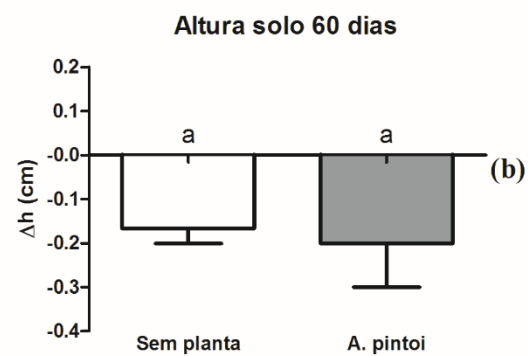
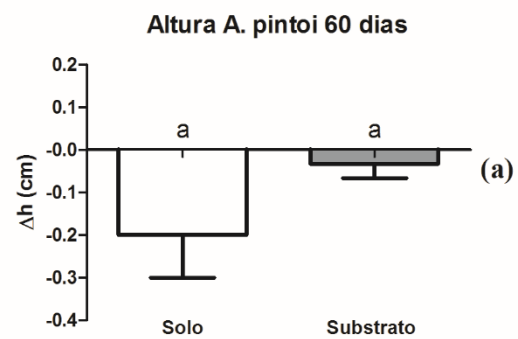


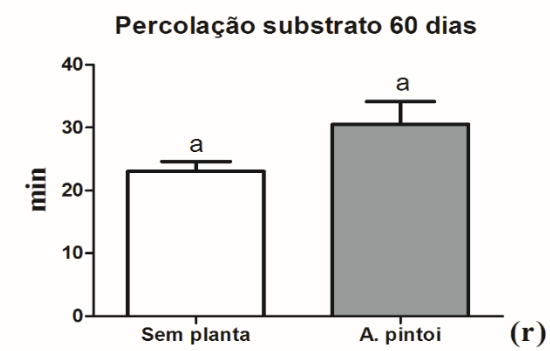
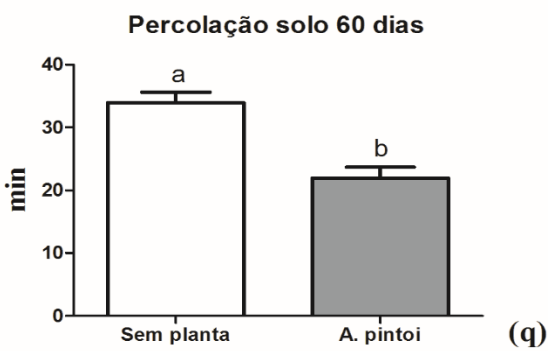
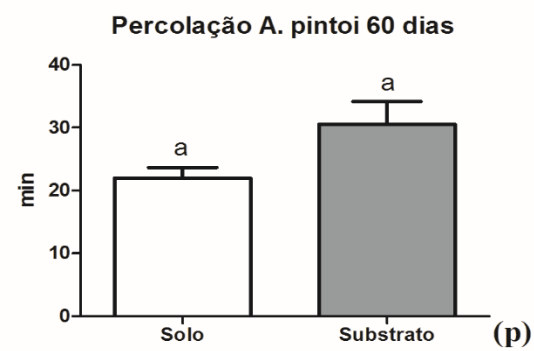
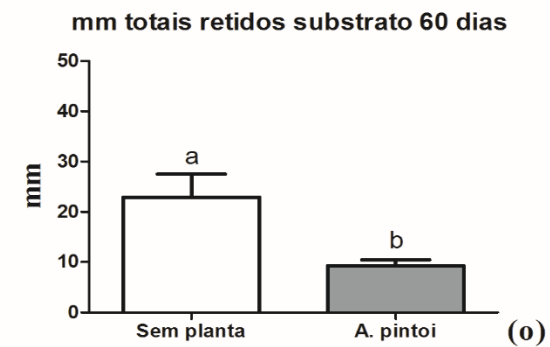
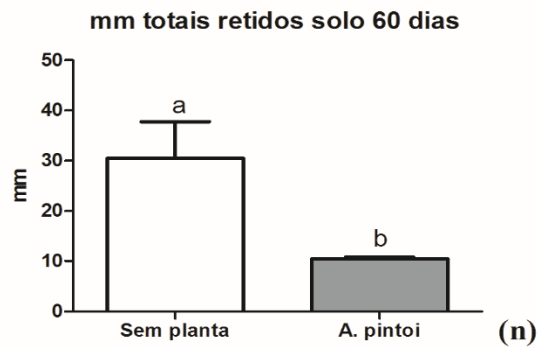
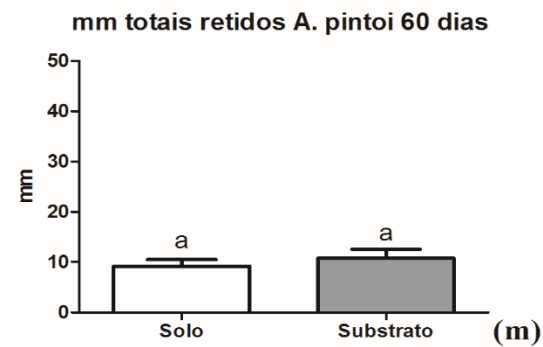
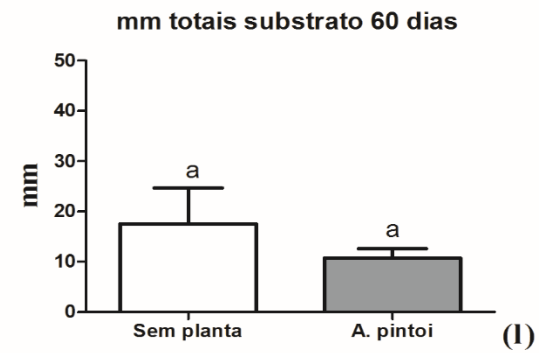
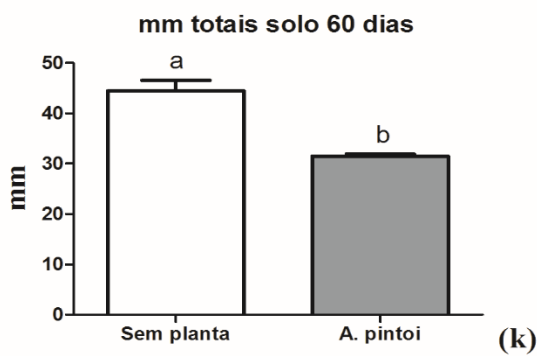
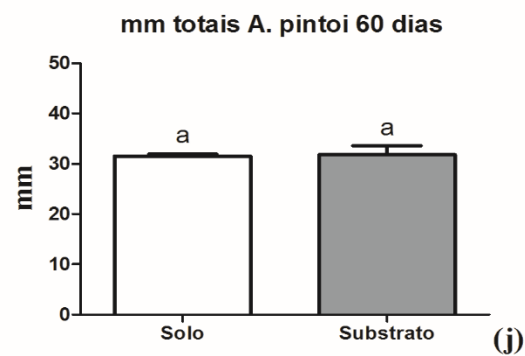
Figura 22 – Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *R. sativus*. Os parâmetros (a, b, c) nitrato; (d, e, f) amônia; (g, h, i) fósforo total, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$).

No solo com condicionadores, a espécie *A. pintoii*, após 60 dias de semeadura, não apresentou diferença significativa no parâmetro retenção hídrica em relação ao solo apenas com planta (Figura 21 a, d, g, j, m, p, s).

Ao analisar a espécie *A. pintoii* em solo apenas, observou-se uma menor quantidade de mm retidos após a chuva de 57 mm/h (10,4 mm retidos em solo com planta; 30,5 mm retidos em solo sem planta); um menor tempo de percolação da água escoada (22,0 min em solo com planta; 34,0 min em solo sem planta); e uma maior intensidade de percolação (1,0 mm/min em solo com planta; 0,5 mm/min em solo sem planta) (Figura 21 n, q, t). Essas características indicam que a raiz de *A. pintoii*, por ser longa, média de 8 cm de comprimento, pode ter criado caminhos preferenciais para escoamento da água (Figura 18 h).

O mesmo comportamento observado com *A. pintoii* em solo é repetido no solo com condicionadores, onde observou-se uma menor quantidade de mm retidos antes da percolação (9,8 mm em solo com condicionadores e *A. pintoii*; 12,0 mm em solo com condicionadores sem *A. pintoii*) e após a percolação (9,3 mm retidos após a percolação em solo com condicionadores e *A. pintoii*; 23,0 mm retidos após a percolação em solo com condicionadores sem *A. pintoii*) (Figura 21 i, o).





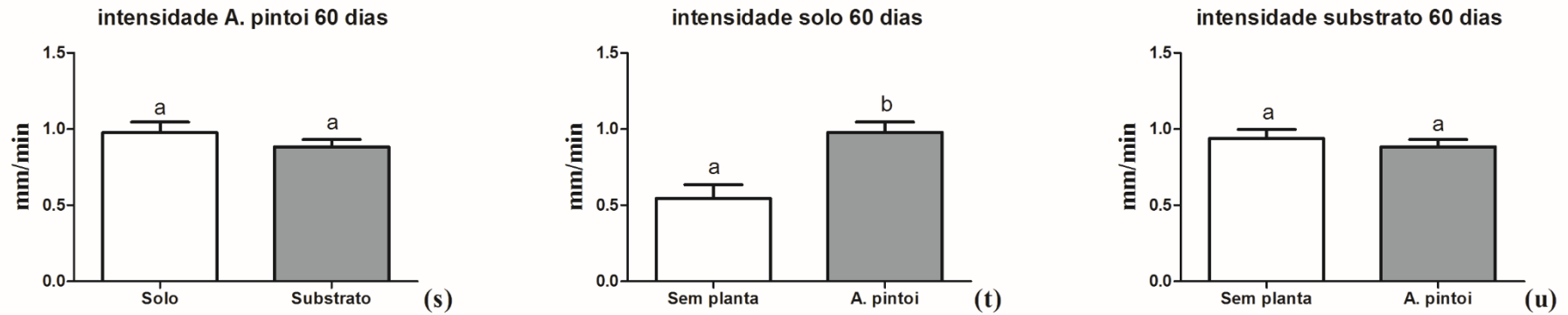
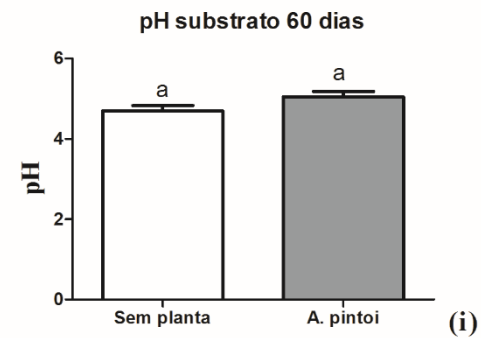
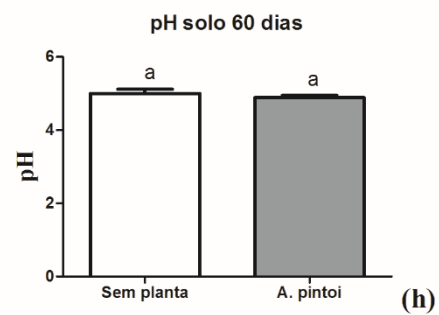
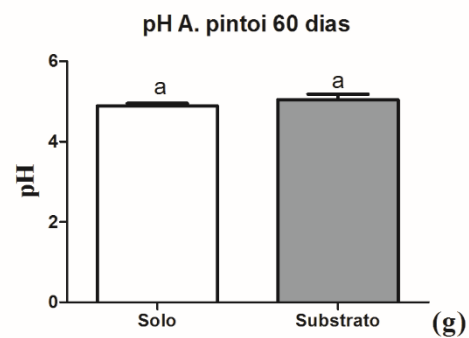
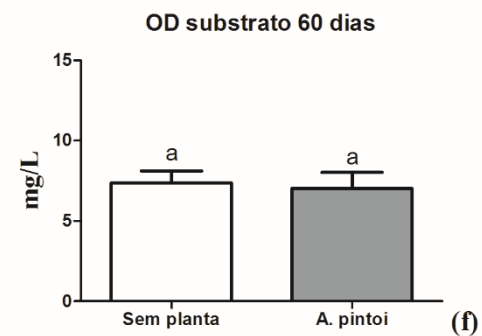
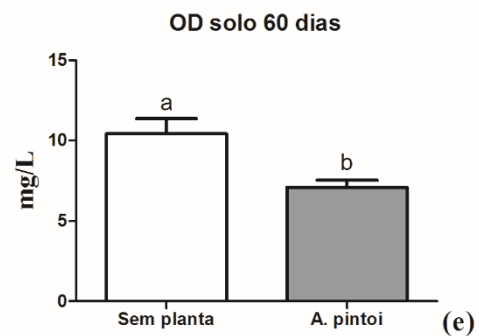
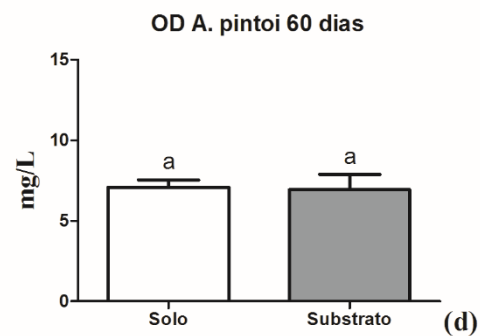
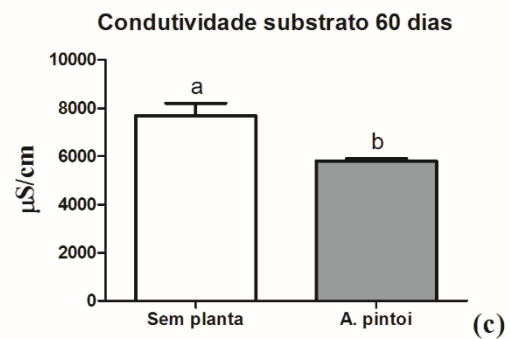
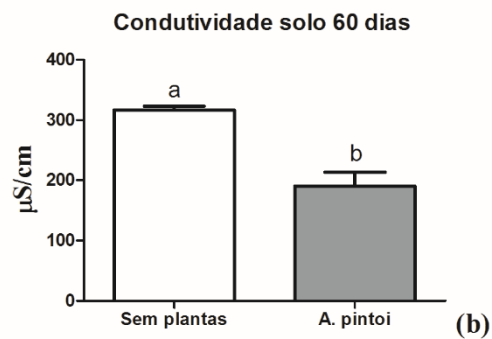
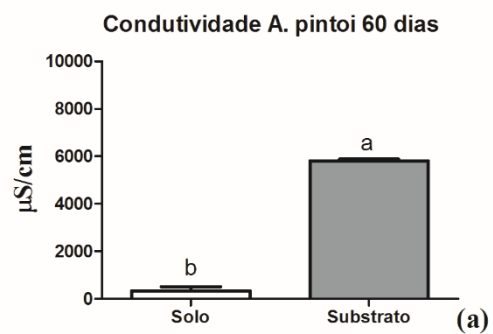


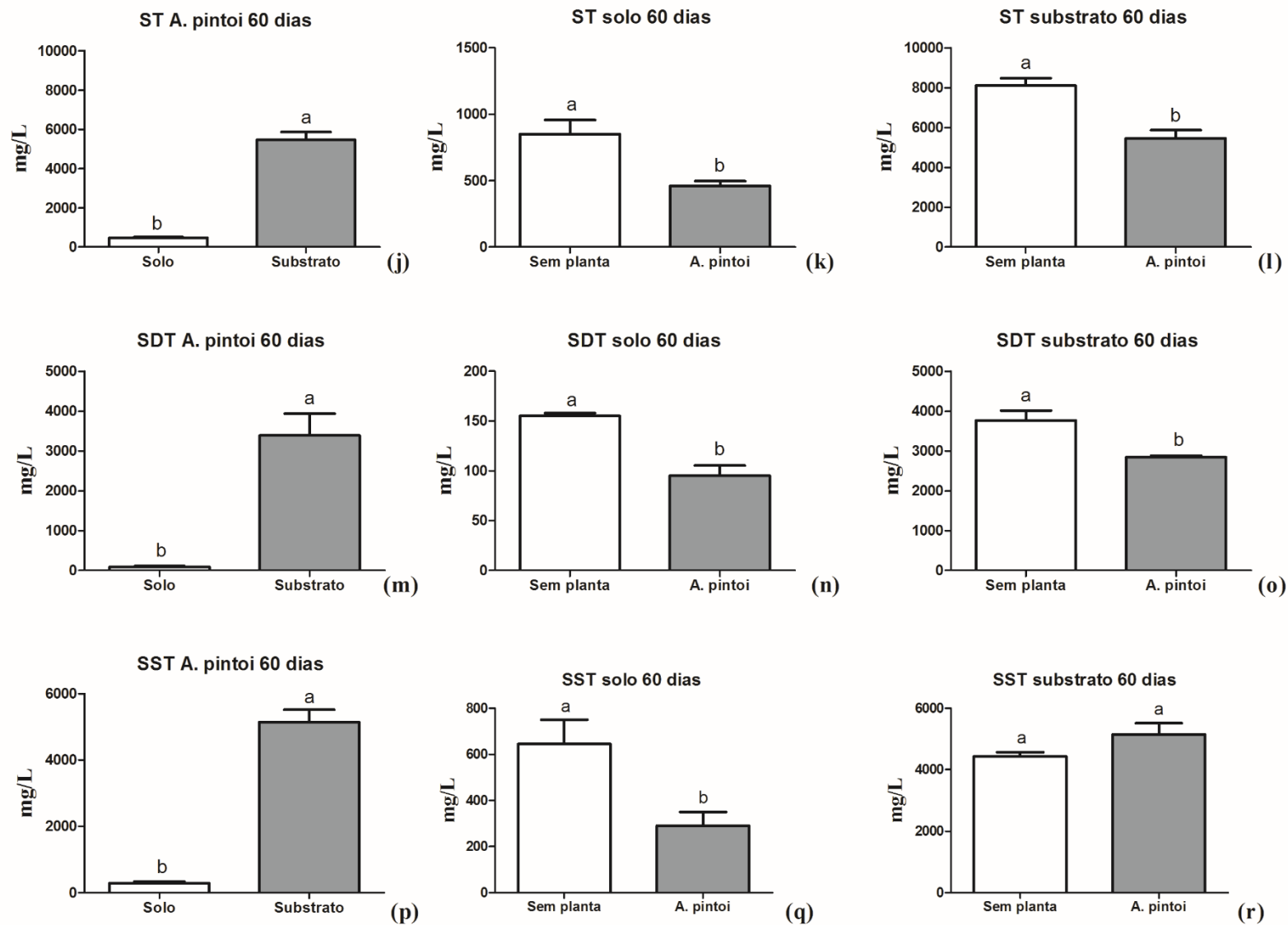
Figura 23 – Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, relativos à geração de percolado de vasos com solo com e sem condicionadores (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *A. pintoi*. Os parâmetros (a, b, c) altura do meio na vaso após a rega; (d, e, f) adiamento do escoamento (min); (g, h, i) mm retidos antes do início da percolação; (j, k, l) mm totais empregados em cada vaso; (m, n, o) mm totais retidos; (p, q, r) tempo de percolação por vaso(min); (s, t, u) intensidade média (mm/min) de cada evento/concentração de gel, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$)

Os parâmetros Condutividade e série de sólidos da água percolada do solo com condicionadores e *A. pinto*i apresentou uma diferença significativa em relação ao solo com a mesma planta. Houve uma maior concentração destes parâmetros no escoamento com solo com condicionadores, em razão presença de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) (Figura 22 a, j, m, p, s, v). O parâmetro turbidez também apresentou diferença estatística em relação aos meios solo e solo com condicionadores, mas diferente dos já mencionados, este mostrou uma diminuição da turbidez da água percolada do solo com condicionadores em relação à água percolada apenas no solo (68,1 NTU na água percolada pelo solo com condicionadores e *A. pinto*i; 140,3 NTU na água percolada pelo solo com *A. pinto*i) (Figura 22 y).

A presença de *A. pinto*i em solo ocasionou a diminuição significativa, na água percolada, dos parâmetros condutividade, OD, série de sólidos (ST, SDT, SST, SFT, SVT). A diminuição da condutividade e da série de sólidos mostra que a planta absorveu nutrientes diretamente do solo para seu metabolismo e crescimento (Figura 22 b, e, k, n, q, t,w)

A água percolada de meio solo com condicionadores e *A. pinto*i apresentou estatisticamente uma menor concentração de condutividade, ST, SDT e SVT. Isto mostra que, igual ao meio solo, a planta buscou nutrientes no solo com condicionadores e o retirou para seu desenvolvimento (Figura 22 c, l, o, x).





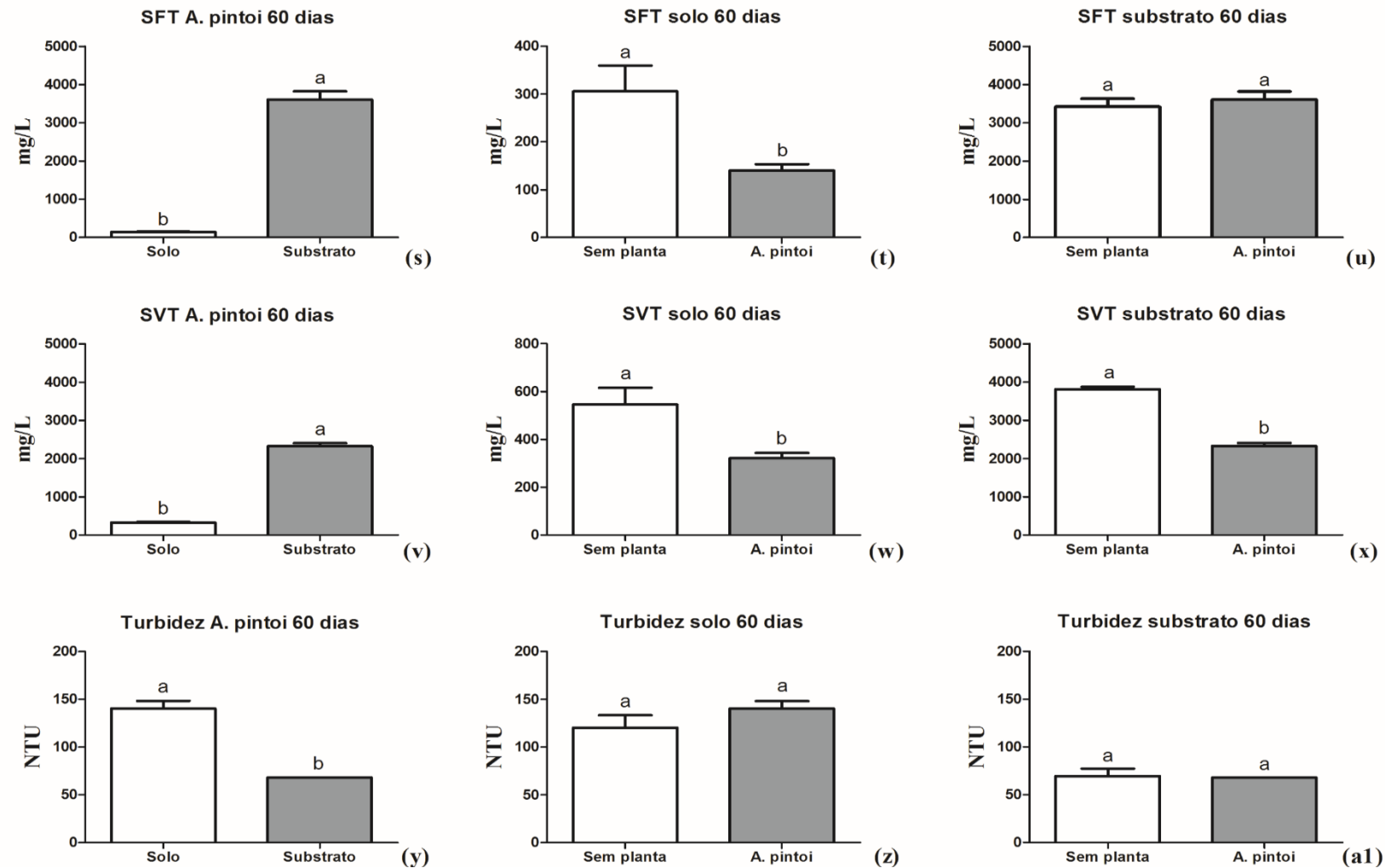


Figura 24 - Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo com e sem condicionadores (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *A. pintoi*. Os parâmetros (a, b, c) condutividade; (d, e, f) OD (oxigênio dissolvido); (g, h, i) pH (potencial de hidrogênio); (j, k, l) ST (sólidos totais); (m, n, o) SDT (sólidos dissolvidos totais); (p, q, r) SST (sólidos suspensos totais); (s, t, u) SFT (sólidos fixos totais); (v, w, x) SVT (sólidos voláteis totais); (y, z, a1) turbidez, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$).

Conforme visto nas análises de nutrientes de *R. sativus* (Figura 21), as concentrações de nitrato, amônia e fósforo total foram maiores significativamente no percolado de solo com condicionadores e *A. pintoii* do que na água percolada em solo com a mesma planta (Figura 23 a, c, f).

A presença da espécie *A. pintoii* não gerou diferenças na água percolada no solo (Figura 23 b, d, g).

Contudo, quando esta espécie estava associada com o solo com condicionadores, ocorreu um aumento da concentração de nitrato na água percolada (540,6 mg/L na água percolada de solo com condicionadores e *A. pintoii*; 463,1 mg/L na água percolada de solo com condicionadores sem *A. pintoii*) (Figura 22 c). Este aumento foi possivelmente decorrente da fixação biológica do nitrogênio atmosférico feito por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que possivelmente se encontravam em nódulos da raiz da planta (LUDWIG et al., 2010).

A concentração de fósforo total diminuiu significativamente em relação ao meio solo com condicionadores sem planta, demonstrando que *A. pintoii* utilizou o nutriente em seu metabolismo (Figura 22 h).

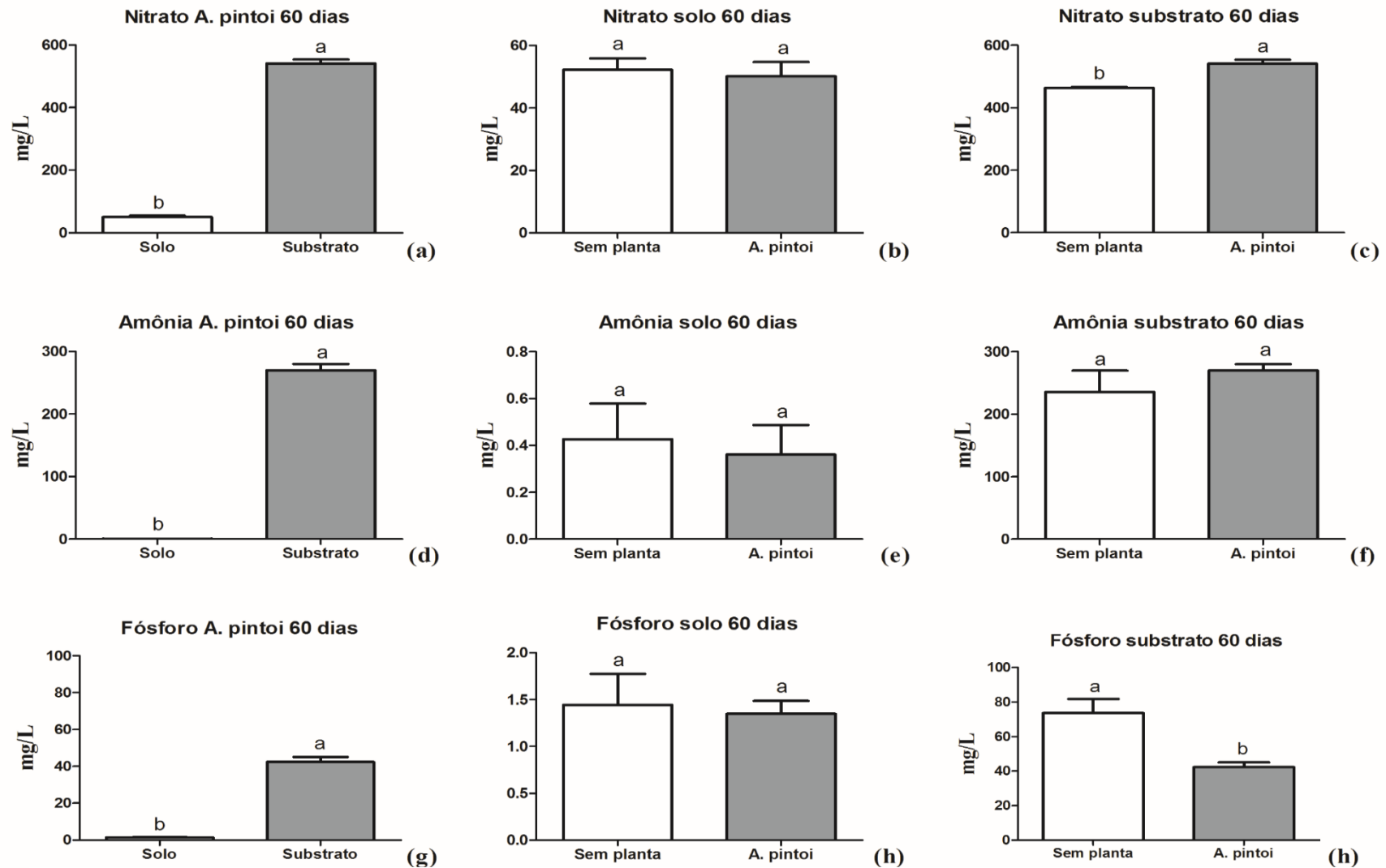


Figura 25 – Gráficos com média e desvios padrão dos resultados obtidos dos testes em estante, em relação a água percolada a partir de tratamentos com solo e substrato (gel retentor 4,0 g/dm³; fertilizante 7,1 g/dm³; zeólita 50 g/dm³) na presença e ausência de *A. pintoi*. Os parâmetros (a, b, c) nitrato; (d, e, f) amônia; (g, h, i) fósforo total, com mesmas letras minúsculas entre meios não são significantes entre si, segundo Teste t ($p \leq 0,05$).

6 DISCUSSÃO

6.1 Componentes do Solo e Condicionadores

Com base nas concentrações de condicionadores do solo testadas, foram estabelecidas as mais apropriadas para cada condicionador (gel, fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) e zeólita), tendo em vista germinação, crescimento vegetal e retenção hídrica. A presença do gel foi elemento fundamental e determinante (Etapa 1) para que fosse atingido o objetivo principal desta dissertação, qual seja, promover um aumento significativo da retenção hídrica. A presença de zeólita também interferiu na retenção hídrica, aumentando-a. A adição de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12), conforme esperado, não alterou a retenção hídrica e produziu uma diminuição significativa do pH da água percolada nas maiores concentrações. Porém decidiu-se por manter as recomendações do fabricante, para avaliar o efeito combinado em testes com e sem a presença de plantas (Etapa 2). No entanto, em regas simulando chuvas mais frequentes, de menor intensidade e duração, o efeito esperado é que não haja uma acidificação da água percolada.

A concentração de gel nas condições de estudo que obteve melhores resultados foi a de 4 g/dm^3 (retenção hídrica máxima alcançada de 107,6 mm). A concentração de gel para 6 g/dm^3 , embora eleve ainda mais a retenção hídrica, resultou em uma maior liberação de sólidos fixos, além de custos adicionais desnecessários. Além da retenção hídrica, o gel promoveu a alcalinização da água percolada do telhado verde simulado. Tal característica pode vir a ter impacto positivo, pois a água de escoamento de telhados e superfícies pode ser ácida em centros urbanos em decorrência da deposição atmosférica que acidificam superfícies e até os solos.

A adição do fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) de liberação lenta, durante o teste de germinação em estante (ETAPA 2), resultou na liberação de concentrações relevantes de nitrato, amônia e fósforo. Tal liberação tornou este solo com condicionadores uma fonte de poluição hídrica, podendo contribuir para a eutrofização de cursos d'água, limitando as opções de reuso da água de escoamento, àquelas que precisam de nutrientes, tais como rega de jardins ou irrigação do próprio telhado verde em períodos de estiagem. As altas concentrações de amônia possivelmente resultaram em fitotoxicidade, retardando o desenvolvimento das raízes de *A. pintoi*.

Portanto, no caso da permanência do fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) na composição como um dos condicionadores de telhado verde proposto, há necessidade de no futuro, investigar-se quais as concentrações mínimas adequadas para cada espécie vegetal utilizada e que minimizem a liberação de contaminantes no percolado, algo que de qualquer forma, só deve ocorrer em eventos extremos de chuvas intensas e/ou prolongadas.

No presente estudo, as concentrações de 50 e 70 g/dm³ de zeólita promoveram uma maior retenção de água (80,1 mm e 70,0 mm, respectivamente). Porém, este condicionador também promoveu alterações na condutividade elétrica e sólidos dissolvidos da água percolada nas condições de estudo no primeiro evento de chuva. Embora as zeólitas tenham capacidade de retenção hídrica, seu alto custo pode inviabilizar seu uso como condicionador de um telhado verde. Além disso, no presente estudo, o gel retentor cumpriu essa função de forma satisfatória.

A decisão de manter estes dois condicionadores (fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) e zeólita) durante a Etapa 2 (experimento com plantas) foi baseada no amplo e difundido uso dos mesmos na agricultura, e no fato de que quando combinados, poderiam apresentar características tais como: retenção hídrica, devido ao grande número de cavidades internas (BERNARDI et al., 2004, 2008; LUZ, 1995); melhoria na eficiência do uso dos nutrientes, com o aumento da retenção destes, tendo como consequência a melhoria da qualidade do solo (BERNARDI et al., 2004; LUZ, 1995).

Ao comparar os resultados obtidos no presente estudo com dados da literatura, o solo e os três condicionadores testados na ETAPA 1 apresentaram uma maior retenção (57,42 mm) do que os dados apresentados por Nardini; Andri; Crasso (2011) (15,75 mm) e Vijayaraghavan; Joshi; Balasubramanian (2012) (17,5 mm) (Tabela 12). Entretanto, diferenças diversas no desenho experimental podem explicar tal superioridade.

No primeiro estudo, foram utilizados módulos de TVs comerciais da marca SEIC®, com substratos de profundidade de 12 cm compostos de lapiluz, pomix, zeólita e turfa. Embora lapiluz e turfa sejam condicionadores conhecidas por sua capacidade de reter água, a quantidade não percolada foi menor do que a da presente dissertação (AZEVEDO, 2011; MORALES; RODRÍGUEZ, 2012). Entre os elementos que podem causar essas diferenças estão o ambiente, que no tal estudo foi em ambiente aberto e na dissertação em laboratório com variáveis controladas, entre elas a umidade do ar, a intensidade de chuva que foi muito maior na presente dissertação (57 mm/h) do que no referido estudo (2 e 4 mm/h); e o tempo de
chuva.

No segundo estudo, a quantidade de mm adiados (40 mm) com um substrato comercial (DAKU®) foi semelhante, porém ligeiramente inferior ao verificado na presente dissertação (aprox. 46 mm) (Tabela 11). Contudo, a retenção de água da chuva foi baixa, visto que o substrato já se encontrava úmido. No entanto, a composição do substrato comercial não foi detalhada, mas foi indicada a presença de materiais inorgânicos de origem vulcânica e fertilizantes orgânicos e inorgânicos.

De acordo com Oliveira (2012), um estudo anterior e realizado com as mesmas colunas, porém com uma intensidade de chuva bem inferior (8,77 mm/h), os maiores valores de mm retidos antes da percolação e totalmente retidos (depois de finalizada a percolação) foram encontrados nas colunas com maior quantidade de solo (30 e 60%) e uma menor quantidade de fibra de coco (40 e 10%) (Tabela 12). Essas condições são explicadas pela capacidade de retenção de água no solo, que na presente dissertação foi de 9,74 mm (solo seco), e que a fibra de coco só apresenta a característica de retenção de água quanto fracionada em pequenos tamanhos (OLIVEIRA, 2012).

Os parâmetros físico-químicos escolhidos para comparação da presente dissertação e estudos anteriores foram o pH e a condutividade. A medição do pH tem como objetivos o enquadramento do despejo em uma faixa adequada para lançamentos em um corpo hídrico (afetando a biota do local) ou um sistema público de esgoto (interferindo nos tratamentos de esgoto) (CAVALCANTI, 2009).

A análise de condutividade mede a habilidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica. Essa condução ocorre pela presença de íons, assim, quanto maior a presença de íons, maior a condutividade. Em geral, soluções aquosas com substâncias inorgânicas são boas condutoras, já que essas substâncias inorgânicas se dissociam na presença de água. Soluções aquosas com substâncias orgânicas são más condutoras, pois a matéria orgânica não se dissocia na presença de água (APHA, 2012).

O pH da amostra de água percolada do (4,88) foi similar ao pH das amostras analisadas por Oliveira (2012) (4,95; 5,18; 4,91; 4,79; 4,50; 4,92). Essa similaridade refere-se ao fato de que na presente dissertação foram usados alguns condicionadores do estudo (Tabela 13).

A condutividade do presente estudo foi menor (3322,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) do que a encontrada por Oliveira (2013) (5680 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 6360 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 61550 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 20860 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 63600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 14680 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A diminuição da medida de condutividade está relacionada com a ausência de alguns condicionadores (fibra de coco e turfa) e a diminuição da concentração de fertilizante de liberação lenta Osmocote (15-9-12) utilizada. Este valor foi superior ao encontrado por Vijayaraghavan; Joshi e Balasubramanian (2012), $< 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 12). Neste estudo foram utilizados 2 substratos comerciais, o primeiro da marca DAKU® e o segundo *Universal Garden Soil*®, compostos por turfa (branca e preta) e argila. Nenhum dos condicionadores utilizado na presente dissertação, o que indica que a interação destes materiais elevada a medida de condutividade.

Tabela 12 - Comparação dos dados de intensidade de chuva (mm/h), adiantamento (mm) e retenção (mm) obtidos com o presente estudo e na literatura.

Parâmetros /Estudos	Substrato	mm/h	mm adiados	Retenção (mm)
Presente trabalho* (Altura do meio: 93 mm)	Solo caracterizado, gel retentor (4,0 g/dm ³), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (7,1 g/dm ³), zeolita (50 g/dm ³)	57	45,93	57,42
Oliveira, 2012 (Altura do meio: 200 mm)	Solo (15%), palha de coco (55%), turfa (30%), gel retentor (4,0 g/dm ³), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm ³) e zeólita (50,0 g/dm ³)	8,77	17,54	17,54
		42,00	-	19,32
	Solo (30%), palha de coco (40%), turfa (30%), gel retentor (4,0 g/dm ³), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm ³) e zeólita (50,0 g/dm ³)	8,77	61,39	61,39
		42,00	-	21,84
	Solo (60%), palha de coco (10%), turfa (30%), gel retentor (4,0 g/dm ³), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm ³) e zeólita (50,0 g/dm ³)	8,77	61,39	61,39
		42,00	-	>23,1
Nardini et al., 2011 (Altura do substrato: 120 mm)	Mistura de lapillus, pomix, zeolita e turfa	2	-	12
		4	-	15,75
Vijayaraghavan et al., 2012 (Altura do substrato: 150 mm)	Substrato comercial DAKU®	10	40	17,5

*Valores médios

Tabela 13 - Comparação dos dados de pH e Condutividade com dados da literatura

Parâmetros /Estudos	Substrato	Chuva (mm/h)	pH	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Presente trabalho* (Altura do meio: 93 mm)	Solo caracterizado, gel retentor ($4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante de liberação lenta Osmocote® ($7,1 \text{ g/dm}^3$), zeolita (50 g/dm^3)	57	4,88	3322
Oliveira (2012) (Altura da coluna: 200 mm)	Solo (15%), palha de coco (55%), turfa (30%), gel retentor ($4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm^3) e zeólita ($50,0 \text{ g/dm}^3$)	8,77	4,95	5680
		42,00	5,18	6360
	Solo (30%), palha de coco (40%), turfa (30%), gel retentor ($4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm^3) e zeólita ($50,0 \text{ g/dm}^3$)	8,77	4,91	61550
		42,00	4,79	20860
	Solo (60%), palha de coco (10%), turfa (30%), gel retentor ($4,0 \text{ g/dm}^3$), fertilizante de liberação lenta Osmocote® (9 g/dm^3) e zeólita ($50,0 \text{ g/dm}^3$)	8,77	4,50	63600
		42,00	4,92	14680
Vijayaraghavan et al. (2012)	Substrato comercial de jardim <i>Universal Garden Soil</i> ®		-	350-500
(Altura do substrato: 150 mm)	Substrato comercial DAKU®	10	-	200-300

*Valores médios.

6.2 Espécies de plantas

Alguns parâmetros devem ser considerados na escolha das espécies de plantas de um telhado verde: propósito do projeto, espécies de plantas localmente adaptadas (plantas bem adaptadas à região e resistentes à seca), condições ambientais (regime de chuvas, clima, incidência solar, regime de ventos), composição e profundidade do substrato, local e altura da instalação, método de instalação e manutenção, possibilidade de aproveitamento ou armazenagem do percolado, apelo estético, funcionalidade, acessibilidade, entre outros (GETTER; ROWE, 2008; JOHNSTON; NEWTON, 2004).

Os vasos com meio solo e condicionadores tiveram um maior tempo no adiamento do escoamento devido ao uso do gel retentor. Este gel atuou tanto úmido quanto na presença ou ausência de planta, já que a densidade de plantas por vaso foi baixa (Tabela 14).

Contudo, sua capacidade de retenção foi menor do que a do estudo de Bliss; Neufeld; Ries (2009) que utilizou um substrato sintético feito de xisto expandido, perlita e casca de coco de 14 cm de altura. O xisto expandido e a perlita possuem a capacidade de reter água e presença de plantas auxiliaram no aumento do tempo para a percolação (AZEVEDO, 2011; GRANT, 2015). Além do fato de que o substrato se encontrava seco antes do evento de chuva.

Em relação aos mm retidos ao final do evento de simulação de chuva de intensidade de 57 mm/h, os vasos com solo e condicionadores apresentaram o mesmo comportamento no parâmetro tempo de adiamento dos vasos com solo apenas. Destaca-se que o tempo de exposição dos vasos a luz artificial causou uma maior retenção na chuva simulada, isso pode ser devido a uma maior evaporação de água do solo (Tabela 14).

Bliss; Neufeld e Ries (2009) em seu estudo encontraram valores maiores de tempo de adiamento do que os da presente dissertação. Essa característica demonstra que o solo e condicionadores, por já possuir água retida em decorrência da alta quantidade de regas, atuaram pouco no parâmetro adiamento do tempo de escoamento.

Nardini; Andri e Crasso (2011) e Vijayaraghavan; Joshi; Balasubramanian (2012) apresentaram uma retenção da água de chuva similar à da presente dissertação. Essa semelhança pode ser explicada pela presença de materiais com capacidades de reter água semelhantes nos dois estudos.

A presença de grandes concentrações de nitrogênio não foi sentida apenas na água escoada, a espécie *A. pintoii* apresentou um menor número de plantas vivas e baixo desenvolvimento da raiz nos vasos com solo e condicionadores. Isto pode ser atribuído à uma característica de intoxicação por amônia. Cruz; Pelacani e Araújo, (2006) demonstraram que em cultivos de mandioca com apenas NH_4^+ como fonte de nitrogênio, estas geraram um menor desenvolvimento da massa seca total da planta. Do mesmo modo, Silva; Couto; Santos, (2010), demonstraram um menor desenvolvimento da massa seca do girassol na presença de NH_4^+ (Tabela 15).

Apesar dos TVs reduzirem a poluição pelo escoamento das águas pluviais urbanas através da absorção e filtração de poluentes, esta tecnologia também pode contribuir potencialmente para a liberação de poluentes na água vindos do solo, plantas e fertilizantes (TEEMUSK; MANDER, 2007). Contudo, os fertilizantes atuam no desenvolvimento de uma cobertura vegetal densa, no aumento da floração e na melhora da característica estética da vegetação num telhado verde (BERNDTSSON; EMILSSON; BENGTSSON, 2006). Acredita-se, que em regime de chuvas mais comuns (curta duração e baixa intensidade), em ambiente aberto onde ocorra transpiração e evapotranspiração, com maior intensidade de plantas, todos os fenômenos observados de lixiviação devem ser fortemente atenuados.

Tabela 14 - Comparação dos dados físicos obtidos com a literatura.

Referências	Composição do substrato	Espécies de planta	Chuva (mm/h)	Tempo de adiantamento (min)	Volume retido (mm)
		<i>R. sativus</i>		11,60	9,12
Presente trabalho (Altura do meio: 93 mm)	Solo, gel retentor, fertilizante Osmocote®, zeólita	<i>A. pintoii</i>	57	8,93	18,67
	Solo caracterizado	<i>R. sativus</i>		8,11	4,41
		<i>A. pintoii</i>		7,77	15,05
Bliss et al., 2009 (Altura do substrato: 140 mm)	Substrato sintético grosso feito de xisto expandido, perlita e casca de coco	Gênero Sedum	5	16	9
			1	26	4
Nardini et al., 2011 (Altura do substrato: 120 mm)	Mistura de lapillus, pomix, zeólita e turfa	Vegetação herbácea de pastagens cársticas	2	-	18,1
			4	-	22,63
Vijayaraghavan et al., 2012 (Altura do substrato: 150 mm)	Substrato comercial <i>Universal Garden Soil®</i>	<i>Sedum mexicanum</i>	10		20

Tabela 15 - Comparação dos dados químicos obtidos com a literatura.

Referências	Substrato	Plantas	Fósforo (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Amônia (mg/L)
Presente trabalho (Altura do meio: 93 mm)	Gel retentor, fertilizante de liberação lenta, zeólita	<i>R. sativus</i>	25,97	18235,34	10346,67	274,13
		<i>A. pintoi</i>	55,70	477,63	314,64	314,64
	Solo caracterizado	<i>R. sativus</i>	0,98	52,68	784	5,43
		<i>A. pintoi</i>	1,35	45,16	0,36	0,36
Bliss et al., 2009 (Altura do substrato: 140 mm)	Substrato sintético grosso feito de xisto expandido, perlita e casca de coco.	<i>Gênero Sedum</i>	2,1	-	-	
Beck et al., 2011 (Altura do substrato: 150 mm)	substrato comercial para TV (cascalho, areia, silte, argila, pedra pomes, adubo Fiber Vida e fibra de papel.+ 7% peso de biocarvão)	<i>Sedum hispanicum</i>	21,1	22,5		
		<i>Lolium perenne</i>	2,0	8,4		
	Solo estéril	<i>Sedum hispanicum</i>	10,3	17,9		
		<i>Lolium perenne</i>	17,4	63,4		
Vijayaraghavan et al., 2012 (Altura do substrato: 150 mm)	Substrato comercial de jardim <i>universal garden soil</i> ®	<i>Sedum mexicanum</i>	-	-	-	300-400

CONCLUSÃO

A composição final do solo e condicionadores da ETAPA 1, quando testada nos vasos (ETAPA 2) com e sem plantas apresentou um resultado satisfatório, com adiamento do escoamento e retenção da água da chuva no solo com condicionadores. Baseado nos ensaios com o solo e condicionadores da ETAPA 1 e o solo puro concluiu-se que o gel possuiu uma capacidade de retenção de água maior, embora zeólita também tenha apresentado esta mesma capacidade, em menor escala.

Em relação às espécies de plantas testadas concluiu-se que estas podem germinar tanto em solo quanto em solo com condicionadores, porém o crescimento ocorre de forma diferente. A espécie *R. sativus* apresentando os melhores resultados de crescimento e desenvolvimento, com menor número de plantas mortas e um aumento do peso de sua raiz. Todavia, tal resultado deve ser comprovado em experimento expostos às condições naturais (a céu aberto).

Após os ensaios das ETAPAS 1 e 2 foi possível verificar que o solo e os condicionadores propostos atuaram de forma significativa na retenção da água da chuva, contribuindo como medida compensatória no controle de enchentes. Os melhores resultados foram encontrados nos ensaios contendo o condicionador gel retentor (4 g/dm^3) e a zeólita (50 g/dm^3) e com a espécie de planta *R. sativus*. Entretanto, não houve desenho experimental para otimização das combinações ideais.

RECOMENDAÇÕES

Devido ao fato do presente estudo ter sido realizado em escala de laboratório (colunas e vasos em estante de crescimento simulando telhados verdes sem e com plantas), com as variáveis tais como intensidade de chuva, umidade, fotoperíodo e temperatura, controladas, recomenda-se que no futuro, sejam realizados ensaios em telhado inclinado em escala real, em ambientes expostos as condições climáticas reais.

Com base nos resultados dos testes de germinação de percolação é recomendado, como sugestão para futuros estudos, que sejam testados uma maior densidade de plantas para que se possa verificar a real influência do sistema radicular sobre a retenção hídrica e a qualidade química do percolado.

Um número maior de repetições (o presente trabalho utilizou triplicatas) é também recomendado.

Recomenda-se ainda, a realização de testes com concentrações de fertilizantes bem mais baixas do que a testada (e recomendada pelo fabricante para uso agrícola), para garantir o máximo de benefício para o crescimento das plantas com o mínimo de impacto negativo, tais como a concentração de nitrato e fósforo na água percolada.

Finalmente, recomendam-se experimentos em que a água percolada seja armazenada e utilizada na rega do próprio telhado verde, como forma de reciclagem dos nutrientes liberados.

REFERÊNCIAS

- ABEDI-KOUPAI, J.; ASADKAZEMI, J. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. **Iranian Polymer Journal**, v. 15, n. 9, p. 715–725, 2006.
- ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. DA S. **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2013.
- AGUIAR, C.; FEDRIZZI, B. **Telhados verdes na habitação de interesse social** Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. **Anais...**Porto Alegre: 2010
- ALENCAR, D. B. S. DE; SILVA, C. L. DA; OLIVEIRA, C. A. DA S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 103–112, 2006.
- ALERTA RIO. **Relatórios anuais de chuva**. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/?page_id=1110>. Acesso em: 30 mar. 2015.
- ALMEIDA, L. V. B. DE et al. Disponibilidade de nutrientes e crescimento de porta-enxertos de citros fertilizados com fertilizantes convencionais e de liberação lenta. **Revista Brasileira de Fruticultura de Jaboticabal**, v. 34, n. 1, p. 289–296, 2012.
- ALMEIDA, J. J. Os riscos naturais e a história: o caso das enchentes em Marapá (PA). **Tempos Históricos**, v. 15, p. 205–238, 2011.
- ANDRADE, E. R. DE; OLIVEIRA, S. C. C.; BORGHETTI, F. Efeito da microbiota do solo na atividade fitotóxica de extratos foliares de *Stryphnodendron adstringens* (Mart .) Coville. **Iheringia, Série Botânica**, v. 68, n. 2, p. 187–194, 2013.
- ANDRADE, N. C. DE; RORIZ, M. Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos, SP. **Parc**, v. 1, n. 4, p. 1–16, 2009.
- ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. **Organização e Sociedade**, v. 15, n. 45, p. 29–45, 2008.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: [s.n.].
- ARAÚJO, A. P. C. . et al. **Aproveitamento de água pluvial em sistema modular de telhado verde com aplicação em sistemas de drenagem urbana**4th International Workshop Advances in Cleaner Production. **Anais...**São Paulo: 2013Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/6A/3/araujo_apcs_et_al_work.pdf>

ARAUJO, K. A. S. F. DE et al. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de rabanete em diferentes substratos e doses crescentes de nitrogênio**^{8º} Forum FEPEG. **Anais...** Montes Claos: Unimontes, 2014. Disponível em: <http://www.fepeg.unimontes.br/sites/default/files/resumos/arquivo_pdf_anais/1-resumo_katia.pdf>

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057–1064, 2004.

ASSYOV, B.; VASSILEV, R. New chorological data and remarks on the distribution of some vascular plants in Bulgaria List of plants. **Phytologia Balcanica**, v. 10, n. 2-3, p. 191–199, 2004.

AZEVEDO, P. M. F. **Montagem de laboratório para estudo experimental de coberturas verdes**. [s.l.] Universidade de Aveiro, 2011.

BALLABENI, V. et al. Novel antiplatelet and antithrombotic activities of essential oil from *Lavandula hybrida* Reverchon “grosso”. **Phytomedicine: international journal of phytotherapy and phytopharmacology**, v. 11, n. 7-8, p. 596–601, nov. 2004.

BARNES, K. B. et al. **Impervious surfaces and the quality of natural and built environments**. Maryland: Towsin University, 2002.

BAROCELLI, E. et al. Antinociceptive and gastroprotective effects of inhaled and orally administered *Lavandula hybrida* Reverchon “Grosso” essential oil. **Life sciences**, v. 76, n. 2, p. 213–23, 26 nov. 2004.

BARROS, J. D. DE S. Mudanças climáticas, degradação ambiental e desertificação do semi-árido. **Revista Eletrônica Polêm!ca**, v. 10, n. 3, p. 476–483, 2011.

BERNARDI, A. C. DE C. et al. **Disponibilidade de Água e Produção de Arroz em Função das Doses de Concentrado Zeolítico** **Circular Técnica**: Circular Técnica 24. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/circtec24_2004_doseszeolita.pdf>.

BERNARDI, A. C. DE C. et al. **Potencial do uso de zeólitas na agropecuária** São Carlos Embrapa Pecuária Sudeste, , 2008.

BERNDTSSON, J. C.; BENGTTSSON, L.; JINNO, K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 3, p. 369–380, mar. 2009.

BERNDTSSON, J. C.; EMILSSON, T.; BENGTTSSON, L. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. **The Science of the total environment**, v. 355, n. 1-3, p. 48–63, 15 fev. 2006.

BLISS, D. J.; NEUFELD, R. D.; RIES, R. J. Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof. **Environmental Engineering Science**, v. 26, n. 2, p. 407–418, fev. 2009.

BONIFACIO, J. S. et al. **Evapotranspiration and crop coefficient of radish in the south region of Mato Grosso do Sul state**II Inovagri International Meeting. **Anais...**Fortaleza: 2014Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a299>>

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRASIL. **Educação ambiental & mudanças climáticas: diálogo necessário num mundo em transição**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013a.

BRASIL. Instrução Normativa nº 41, de 11 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União**, p. 1, 13 set. 2013b.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 196–199, 2001.

CAVALCANTI, J. E. W. D. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1. ed. [s.l.] Oficina de Textos, 2009.

CENTRO DE OPERAÇÕES RIO. **Alerta Rio**. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/?page_id=1110>. Acesso em: 5 jul. 2014.

CORTÉZ, C. F.; CASTILLO, C. A. D. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. **Cuadernos de Vivienda y Urbanismo**, v. 4, n. 8, p. 316–329, 2011.

COSTA, G. B. et al. **Pesquisa de graduação a serviço da responsabilidade social: educação ambiental através da introdução de telhados verdes para a drenagem urbanas sustentável**XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. **Anais...**Belém: 2012

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca. **Bragantia**, v. 65, n. 3, p. 467–475, 2006.

CUNHA, A. J. DA; MELO, B. DE; SANTOS, J. C. F. Interferência do cultivo intercalar de leguminosas perenes nas características vegetativas e produtivas do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 24–33, 2014.

ETHUR, L. Z. et al. Sanidade de sementes e emergência de plântulas de nabo forrageiro , aveia preta e centeio submetidas a tratamentos com bioprotetor e fungicida. **Ciência e Natura**, v. 28, n. 2, p. 17–27, 2006.

EVONIK. **Water and nutrients for improved plant growth**. Disponível em: <<http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/products/stockosorb/pages/default.aspx>>.

FELIPPE, G. **No rastro de Afrodite: plantas afrodisíacas e culinária**. São Paulo: Atelie Editorial, 2004.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. C. **Amendoim no telhado : O comportamento da grama-amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva** VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. **Anais...** Vitória: 2011

GARCÍA, E. M. F. **Establecimiento de cultivos de células en susensión de *Lavandula angustifolia* Miller**. [s.l.] Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, 2013.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. **Selecting plants for extensive green roofs in the United States**. Michigan: Michigan State University Extension, 2008.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. **Ecological Engineering**, v. 31, n. 4, p. 225–231, dez. 2007.

GHEBRU, M. G.; DU TOIT, E. S.; STEYN, J. M. Water and nutrient retention by Aquasoil® and Stockosorb® polymers. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 24, n. 1, p. 32–36, jan. 2007.

GONÇALVES, S. M. et al. **Estudo de doses do adubo de liberação lenta “Osmocote” em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes** Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. **Anais...** Águas de Lindóia: 2007

GRANT, A. **What is perlite: learn about perlite potting soil**. Disponível em: <<http://www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/soil-fertilizers/perlite-potting-soil.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

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

JIM, C. Y. Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 8, p. 173–187, 7 maio 2012.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building Green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements**. Londres: Greater London Authority, 2004.

KLOSS, C.; CALARUSSE, C. **Rooftops to Rivers: green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows**. Califórnia: Natural Resources Defense Council, 2006.

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

KOTSIRIS, G. et al. Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 240–249, fev. 2012.

KREBS, L. F.; SATTLER, M. A. Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 4, n. 4, p. 101–112, 2012.

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

LAAR, M.; GRIMME, F. W. **Thermal comfort and reduced flood risk through green roofs in the Tropics**The 23th Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Anais...**Genebra: 2006

LAERA, L. H. N. Mudanças climáticas e as responsabilidades, atribuições e ações do poder público na cidade do Rio de Janeiro. **Revista de Direito da Cidade**, v. 05, n. 2, p. 137–152, 2013.

LAGSTRÖM, J. **Do Extensive Green Roofs Reduce Noise?** Augustenbo ed.Malmo: International Green Roof Institute, 2004.

LAMBERT, F. H. et al. How much will precipitation increase with global warming. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 89, n. 21, p. 193–194, 20 maio 2008.

LANA, M. DO C.; LUCHESE, A. V.; BRACCINI, A. DE L. Disponibilidade de nutrientes pelo fertilizante de liberação controlada Osmocote e composição do substrato para produção de mudas de Eucalyptus saligna. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 1, p. 68–81, 2010.

LAZZARIN, R. M.; CASTELLOTTI, F.; BUSATO, F. Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 12, p. 1260–1267, dez. 2005.

LEITE, V. DO S. **Determinação do grau de heterozigose de progênies do acesso BRA 041122 da espécie Arachis pintoi Krapov. & Gregory por meio de marcador molecular ssr.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2008.

LEONCINI, C. L. et al. **Drenagem Sustentável**São PauloEscola Politécnica da Universidade de São Paulo, , 2011.

LIMA, I. G. DE; BARROCA, B. B.; D'OLIVEIRA, P. S. **Influência do Telhado Ecológico com Plantas Verdes no Conforto Ambiental**VI Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. **Anais...**2009

LUDWIG, R. L. et al. Produção e qualidade do Arachis pintoi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 2–15, 2010.

LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 885–892, 2001.

LUNDHOLM, J. T. Green Roofs and Facades : A Habitat Template Approach. **Urban Habitas**, v. 4, n. 1, p. 87–101, 2004.

LUNDHOLM, J. T. Green Roofs and Facades : A Habitat Template Approach. **Urban Habitas**, v. 4, n. 1, p. 87–101, 2006.

LUZ, A. B. DA. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**Rio de JaneiroCETEM/CNPq, , 1995. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_stm/stm-68.pdf>

MANKHATITHAM, W. The study of groundcover for heat reduction. **International Journal of Civil, Structural and Contruction Engineering**, v. 8, n. 4, p. 443–447, 2014.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA ed.Brasília: [s.n.].

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré-dimensionamento de sistema fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do Crea-SCI** Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. **Anais...**São Paulo: 2004Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2014

MELLO, G. B. P. DE et al. Estudo da implantação de um telhado verde na faculdade de engenharia mecânica. **Ciências do Ambiente On-Lina**, v. 6, n. 2, p. 39–43, 2010.

MENDONÇA, V. et al. Osmocote® e substratos alternativos na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 799–806, ago. 2004.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning**, v. 77, n. 3, p. 217–226, ago. 2006.

MINAMI, K. et al. Efeito do espaçamento sobre a produção de rabanete. **Bragantia**, v. 57, n. 1, 1998.

MONTERUSSO, M. A.; ROWE, D. B.; RUGH, C. L. Establishment and persistence of Sedum spp . and native taxa for green roof applications. **HortScience**, v. 40, n. 2, p. 391–396, 2005.

MORAIS, C.; RORIZ, M. **Thermal performance of green roof in the city of São Carlos (SP), Southeast of Brazil**The 22th Conference on Passive and Low Architecture. **Anais...**Beirute: 2005a

MORAIS, C.; RORIZ, M. **Temperaturas em protótipo de edificação com cobertura ajardinada: São Carlos, SP**VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Maceió: 2005b

MORALES, A. G.; RODRÍGUEZ, C. G. **Los cultivos americanos en la agricultura de Lanzarote**XX COLOQUIO de Historia Canario Americana. **Anais...**Las Palmas de Gran Canaria: 2012

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. DE; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 59–73, 2014.

MOTA, C. D. F. et al. **Análise das técnicas de captação e armazenamento de água de chuva em cisternas rurais** (Unimontes, Ed.) VI Fepeg Fórum. **Anais...** Montes Claros: VI Fepeg, 2012. Disponível em: <<http://www.fepeg2012.unimontes.br/sites/default/files/An%C3%A1lise%20das%20T%C3%A9cnicas%20de%20Capta%C3%A7%C3%A3o%20e%20Armazenamento%20de%20%C3%A1gua%20de%20Chuva%20em%20Cisternas%20Rurais.pdf>>

MUMPTON, F. A. **La roca magica : Uses of natural zeolites in agriculture and industry**. Irvine: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/96/7/3463.full.pdf+html>>.

NARDINI, A.; ANDRI, S.; CRASSO, M. Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. **Urban Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 697–708, 22 nov. 2011.

O telhado verde de Le Corbusier. Disponível em: <<http://ambientalistasemrede.org/o-telhado-verde-de-le-corbusier/>>.

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

OLIVEIRA, C. C. DE. **Substratos para uso em telhados verdes: avaliação de retenção hídrica e qualidade da água de escoamento**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, S. C. C. et al. **Efeito fitotóxico de extrato aquoso de raiz de Guilandina bonduc em plântulas de Raphanus sativus** (Revista Botânica Acta Brasilica, Ed.) 64º Congresso Nacional de Botânica. **Anais...** Belo Horizonte: 2013

OTTO, J. C. S. **Determinação do grau de homozigose de genótipos selecionados do híbrido natural W34b (BRA 031143) da espécie Arachis pintoi Krapov. & Gregory, por meio de marcadores moleculares**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2007.

PANAYIOTIS, N.; PANAYIOTA, T.; IOANNIS, C. Soil Amendments Reduce Roof Garden Weight and Influence the Growth Rate of Lantana. **HortScience**, v. 38, n. 4, p. 618–622, 2003.

PEREIRA, K. DE S. et al. Crescimento de rabanete (*Raphanus sativus* L .) em resposta a adubação orgânica e biofertilizantes em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p. S4414 – S4420, 2011.

POLITO, R. **Não há muito mais margem para oferta de energia sem chuvas, diz ONS**. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/3886574/nao-ha-muito-mais-margem-para-oferta-de-energia-sem-chuvas-diz-ons>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 48, p. 15–23, 2000.

PRAZERES, L. I. R. C. DA C. V. **Revisão do gênero Lavandula presente em Portugal continental**. [s.l.] Universidade Nova de Lisboa, 2014.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Projeto PR ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIVA, A. D. **Caracterização morfológica e anatômica de *Lavandula dentata* e *L. angustifolia* e estudos de viabilidade produtiva na região centro norte, RS**. [s.l.] Universidade de Passo Fundo, 2012.

RODRÍGUEZ, A. T.; GÁLVEZ, D. M. Evaluacion del uso de techos verdes en clima templado: caso Ecatepec de Morelos, estado de Mexico, Mexico. **Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente**, v. 11, p. 183–190, 2007.

SANTOS, J. C. C. DOS et al. Análise de crescimento e evapotranspiração da cultura do rabanete submetido a diferentes lâminas de água. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 151–156, 2014.

SARVAŠ, M.; PAVLENDÁ, P.; TAKÁČOVÁ, E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. **Journal of Forest Science**, v. 53, n. 5, p. 204–209, 2007.

SCHERER, R. B.; SANTOS, R. C. DOS. Inundações em centros urbanos: impactos ambientais gerados pelo crescimento populacional. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, p. 42–45, 2012.

SCHUSTER, M. Z. et al. Habilidades intrínsecas do *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. em diferentes substratos. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 65–71, 2014.

SERRANO, L. A. L. et al. Efeito de sistemas de produção e doses de adubo de liberação lenta no estado nutricional de porta-enxerto cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura de Jaboticabal**, v. 26, n. 3, p. 524–528, 2004.

SFAKIANAKI, A. et al. Theoretical and experimental analysis of the thermal behaviour of a green roof system installed in two residential buildings in Athens , Greece. **Intenational Journal of Energy Research**, v. 33, p. 1059–1069, 2009.

SILVA, A. C. B. et al. SÉCULO XXI CUPINZEIRO: ESTRUTURA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **E-xata**, p. 75–85, 2011.

SILVA, J. O. DA et al. Capacidade de troca catiônica radicular de gramíneas e leguminosas forrageiras na absorção de cátions. **Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 7, n. 6, p. 60–64, 2009.

SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L. DO; SANTOS, A. R. DOS. Absorção dos íons amônio e nitrato e seus efeitos no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista da FZVA**, v. 17, n. 1, p. 104–114, 2010.

STOCKOSORB. **Water and nutrient management for improved plant growth**. Disponível em: <<http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/products/stockosorb/product-information/pages/default.aspx>>.

STOCKOSORB. **Field of Effectiveness.** Disponível em: <<http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/products/stockosorb/applications/pages/default.aspx>>.

TASSINARI, L. C. DA S. et al. **Influência da pluviometria sobre a persistência das espécies *Gazania rigens* e *Kalanchoe blossfeldiana* como cobertura vegetal de um telhado verde**XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Gonçalves: 2013

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. **Ecological Engineering**, v. 30, n. 3, p. 271–277, jul. 2007.

THIÊN, H. **Vườn treo Babylon trên mái nhà Beirut.** Disponível em: <<http://www.baomoi.com/Vuon-treo-Babylon-tren-mai-nha-Beirut/150/9080820.epi>>. Acesso em: 9 mar. 2015.

TORINA, A. G. et al. Efeitos da ultrafiltração modificada na função pulmonar e necessidade de hemotransfusão em pacientes submetidos à revascularização do miocárdio. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 25, n. 1, p. 59–65, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas.** 1. ed. [s.l.] ABRH, 2007.

USDA. **Plants Database.** Disponível em: <<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=ARPI8>>.

USDA. **Plants Database.** Disponível em: <<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=RASA2>>.

USDA. **Plants Database.** Disponível em: <<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=LAAN81>>.

VACILIKIO, D. V.; FLEISCHFRESSER, L. **Comparação entre telhado verde e convencional nas temperaturas internas de ambientes**II Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Anais...**Campo Mourão: 2011

VALE, G. F. R. DO; CARVALHO, S. P. DE; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros hidrotentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 7–13, 2006.

VIEIRA, N. L. et al. Potential of utilization of rain water excess for irrigation of green roofs in Mato Grosso, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 857–864, 2013.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. **Water research**, v. 46, n. 4, p. 1337–45, 15 mar. 2012.

Village Mall Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.studiocidadejardim.com.br/#!/Village-Mall-Rio-de-Janeiro/cv53/RoomsListItem0_hvis0iyt667_0>.

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

WILSEN NETO, A.; BOTREL, M. C. G. Doses de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de Pinus. **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 65–72, 2009.

YUSUFOGLU, A.; ÇELIK, H.; KIRBASLAR, F. G. Utilization of Lavandula angustifolia Miller extracts as natural repellents , pharmaceutical and industrial auxiliaries. **Journal of Serbian Chemical Society**, v. 69, n. 1, p. 1–7, 2004.

ZHOURI, A.; OLIVEIRA, R. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente & sociedade**, v. 10, n. 2, p. 119–135, 2007.

APÊNDICE A – Tabela com as chuvas do mês de janeiro de 2001-2011 referente à Estação Telepluviométrica Tijuca

Precipitações				
Ano	Mês total(mm)	Maior Chuva/24h (mm)	Chuva máxima/1h (mm)	Média por mês (mm)*
2001	70,0	28,0	0	62,7
2002	71,0	23,2	6,4	69,8
2003	243,4	43,6	24,2	339,9
2004	161,6	68,4	9,8	159,3
2005	193,0	64,8	20,2	196,4
2006	225,4	92,4	64,6	222,0
2007	127,0	32,4	10,2	108,2
2008	185,6	72,8	47,0	161,0
2009	272,4	134,2	41,8	206,3
2010	220,2	95,2	57,0	175,4
2011	103,6	56,0	29,2	98,7

Notas: A média é referente a todo o estado do Rio de Janeiro.

Fonte: ALERTA RIO(2015).

APÊNDICE B – Ficha agronômica das plantas utilizadas no experimento de germinação

Nome comum: Amendoim forrageiro

Nome científico: *Arachis pintoi* Krap. & Greg (USDA, 2014a)

Família: Fabaceae/Leguminosae (USDA, 2014a)

Origem: A planta genuína da América do Sul (CUNHA; MELO; SANTOS, 2014; LUDWIG et al., 2010).

Ciclo/desenvolvimento: Pode se reproduzir sexualmente (sementes) ou assexualmente (estolões). Apresenta um crescimento rasteiro e estolonífero. É classificada como uma planta perene, com floração a partir da terceira e quarta semana de emergência. Suas sementes apresentam geotropismo, se desenvolvendo abaixo da superfície do solo (LUDWIG et al., 2010)

Exigências: A temperatura ideal para seu crescimento é de 25°C a 30°C, paralisando o crescimento quanto à temperatura for menor do que 10°C, o solo ideal é de textura fraca, de média fertilidade, com matéria orgânica igual ou superior a 3%, bem drenado, pH em torno de 6,0 a 6,5, tolerando condições de má drenagem e encharcamento temporário (LUDWIG et al., 2010).

Valor econômico: Apresenta potencial para uso como planta forrageira em pastagem, como cobertura verde em culturas perenes e como planta ornamental (CUNHA; MELO; SANTOS, 2014).

Potencial para o telhado verde: Segundo o estudo de Jim (2012), um telhado verde com a espécie *A. pintoi* possui uma área de arrefecimento passiva, criada pela transpiração da folhagem que fica acima do solo. O experimento de Winai (2014) demonstrou uma diminuição da temperatura do solo e subsolo de um TV com esta planta, que chegou a um valor, no horário de pico, de 4,6°C.



Figura 22 - Vaso contendo *A. pintoi*.

Fonte: O autor, 2014.

Nome comum: Rabanete

Nome científico: *Raphanus sativus* L. (USDA, 2014b)

Família: Brassicaceae/Cruciferae (USDA, 2014b)

Origem: Regiões temperadas da Ásia e e norte da África (FELIPPE, 2004)

Ciclo/desenvolvimento: Apresenta um ciclo de vida curto de 30 dias (CARDOSO; HIRAKI, 2001).

Exigências: Necessita de fotoperíodo de 12 horas de luz (ANDRADE; OLIVEIRA; BORGHETTI, 2013; ETHUR et al., 2006). Os fatores limitantes para seu crescimento e produtividade são o nitrogênio, a textura do solo e uma gestão hídrica adequada, pois estes fatores afetam diretamente o desenvolvimento da planta (ARAUJO et al., 2014; BONIFACIO et al., 2014). Adubos orgânicos favorecem seu desenvolvimento, permitindo maior produtividade (SANTOS et al., 2014).

Valor econômico: É um cultivo de grande número de pequenas propriedades dos cinturões verdes das regiões metropolitanas (CARDOSO; HIRAKI, 2001). O rabanete pode ser usado também como fonte de renda entre outras culturas de ciclo mais longo com épocas definidas de plantio (ARAUJO et al., 2014; MINAMI et al., 1998).

Potencial para o telhado verde: Segundo Cortéz e Castillo (2011), telhado verde com esta planta apresenta uma redução da temperatura dentro do edifício, e esta espécie atua na captura do CO₂ atmosférico.

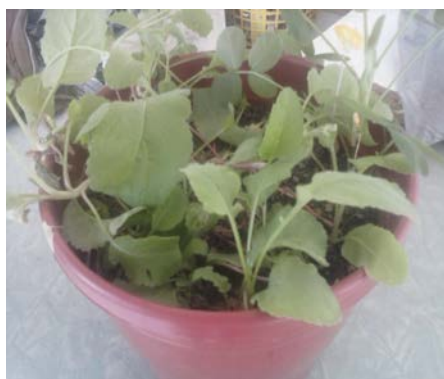


Figura 23 - Vaso com *R. sativus*.
Fonte: O autor, 2014.

Nome comum: Alfazema.

Nome científico: *Lavandula angustifolia* Mill. (USDA, 2014c).

Família: Lamiaceae/Labiata (USDA, 2014c).

Origem: Região do mediterrâneo (ASSYOV; VASSILEV, 2004).

Ciclo/desenvolvimento: Plantas do gênero *Lavandula* são perenes, ou seja, possuem um ciclo de vida longo (PRAZERES, 2014).

Exigências: As plantas do gênero *Lavandula* são resistentes as adversidades ambientais, entre elas o déficit hídrico, contudo estas plantas se desenvolvem melhor em solos arenosos, calcários bem drenados e pedregosos (RIVA, 2012).

Valor econômico: Plantas do gênero *Lavandula* são as mais utilizadas no mundo, e seus óleos e extratos podem ser empregados para tratamentos de doenças, como, por exemplo, epilepsia (BALLABENI et al., 2004). É usada frequentemente em aromaterapia e massagens por possuírem características antibactericidas, antifúngicas, carminativas (evita a flatulência), sedativas e antidepressivas (BAROCELLI et al., 2004). Seus óleos essenciais, obtidos de suas flores e folhas, atuam como um repelente natural, substituindo, assim, muitos produtos inseticidas (YUSUFOGLU; ÇELIK; KIRBASLAR, 2004).

Potencial para o telhado verde: Segundo Krebs; Sattler, (2012) a alfazema é uma das plantas utilizadas nos telhados verdes na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (Brasil). Sua escolha, segundo os autores, está ligada ao conhecimento prévio que os donos dos prédios possuem sobre a espécie. Kotsiris e colaboradores (2012) estudaram o coeficiente de transmissão térmica de telhados vivos que utilizam esta planta em seus substratos. Eles apresentaram baixos valores de transmissão térmica e economia da energia utilizada para resfriamento do andar abaixo do telhado.



Figura 24 - Flores de alfazema.

Fonte: USDA, 2014c.