

## **AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DE TELHADO VERDE EXTENSIVO EM ESCALA PILOTO<sup>1</sup>**

### *A QUALI-QUANTITATIVE ASSESSMENT OF AN EXTENSIVE GREEN ROOF ON A PILOT SCALE*

**Larissa Schwengber Martins<sup>2</sup> e Juliane dos Santos Pinto<sup>3</sup>**

#### **RESUMO**

O uso do telhado verde como cobertura de edificações é uma opção com benefícios tanto econômicos como ambientais. Essa cobertura permite melhorias no ambiente interno e externo da estrutura, tais como, contenção temporária da água da chuva, moderação da temperatura interna e, conseqüentemente, aumento da eficiência energética. Sua vegetação auxilia na absorção e retenção de poluentes atmosféricos, isolamento sonoro e atenuação do efeito ilha de calor. Também funciona como meio de captação da precipitação pluviométrica. O presente trabalho consiste na comparação da eficiência de modelos, em escala piloto, de telhados verdes instalados na cidade de Santa Maria-RS. Os modelos foram construídos com diferentes materiais, sendo um deles confeccionado com garrafas do tipo *PET*. Os modelos construídos em escala piloto foram comparados entre si por meio do monitoramento de variáveis, tais como precipitação pluviométrica, escoamento de água, carga da estrutura e também por meio da análise visual da adaptação da vegetação. O modelo contendo garrafas tipo *PET* obteve resultados satisfatórios em relação aos demais modelos, sua percentagem de retenção de água da chuva foi acima do citado na literatura com 65% de retenção, tendo os modelos com argila e brita a retenção de 86,59% e 80,22% da água da precipitação pluviométrica, respectivamente. A massa do modelo contendo brita foi a superior, com 97 Kg.m<sup>-2</sup>, a argila com 67 Kg.m<sup>-2</sup>, e o modelo contendo *PET* obteve um valor inferior, com 56,5 Kg.m<sup>-2</sup>, sendo o resultado inferior aos limites citados em relação à carga adicional na estrutura. Sendo assim, conclui-se que o modelo contendo garrafas tipo *PET* é útil, eficiente, e mais leve que os demais.

**Palavras-chave:** carga total; cobertura vegetal; garrafa pet.

#### **ABSTRACT**

*The use of green roofs provides both economic and environmental benefits. This kind of roof allows improvements in the internal and external environment of the structure, such as temporary storage of rainwater, moderation of internal temperature and, consequently, an increase in energy efficiency. Green roof plants contribute to the absorption and retention of air pollutants, noise insulation and attenuation of the heat island effect. They also work as an alternative to capture rainfall. This paper aims at comparing, on a pilot scale, the efficiency of green roofs which were made of different materials and installed in the city of Santa Maria, RS. Among them, some were made of PET bottles, i.e. bottles made of polyethylene terephthalate. The roofs designed on a pilot scale were compared among themselves by monitoring some of the variables, such as precipitation, water flow and structure capacity, and by visually analyzing the adaptation of the plants. It was found that the green roofs containing PET bottles obtained satisfactory results in relation to all the other types; their percentage of rainwater harvesting, i.e. 65 % was higher than that reported in the current literature, while the green roofs made of clay and gravel revealed rainwater harvesting of 86.59% and*

<sup>1</sup> Trabalho Final de Graduação - TFG.

<sup>2</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: larissaschwengber@hotmail.com

<sup>3</sup> Orientadora - Centro Universitário Franciscano. E-mail: julianepinto@unifra.br

80.22%, respectively. The mass of the model containing gravel was the highest with 97 kg.m<sup>-2</sup>; the one containing clay was 67 kg.m<sup>-2</sup>; and finally the one containing PET bottles revealed the lowest value with 56.5 kg.m<sup>-2</sup>, being the result below the limits mentioned for the additional load of the structure. Therefore, it was concluded that the green roofs made of PET bottles were useful, efficient and lighter than the others.

**Keywords:** total load; vegetation cover; PET bottles.

## INTRODUÇÃO

O crescimento da população e, conseqüentemente, o aumento da urbanização nas cidades trouxe vários problemas. Segundo Tucci (1995), a impermeabilização das superfícies através de coberturas, pavimentação urbana e construções prediais aumentou de forma significativa o escoamento superficial e reduziu a infiltração no solo. Desta forma, controlar o fluxo da água da chuva e retê-la usando a vegetação como superfície de coberturas nas edificações torna-se uma alternativa para evitar alagamentos e enchentes nos centros urbanos. Os telhados verdes são caracterizados como toda cobertura ou telhado que agrega em sua composição uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação. Existem dois tipos principais de telhado verde: intensivos e extensivos. Intensivo é aquele caracterizado por camadas de solo maiores que 20 cm, são constituídos de plantas e arbustos de médio porte, exigindo estrutura reforçada e com as cargas bem distribuídas devido aos esforços extras causados pelas plantas, solo e água que exercem uma massa adicional de aproximadamente 290 a 970 Kg.m<sup>2</sup> sobre a cobertura (CORREA; GONZALEZ, 2002). A vegetação necessita de maiores cuidados posteriores, como rega, uso de fertilizantes e poda (INGRA, 2010). Não são limitados em termos de variedades de plantas, e requerem os mesmos tratamentos paisagísticos que os jardins convencionais. Já a cobertura extensiva é aquela que, depois de consolidada, não requer cuidados constantes ou especiais, sendo que a camada de substrato varia entre 5 e 15 cm, e as plantas utilizadas são rasteiras como, por exemplo, gramíneas (HENEINE, 2008). É relativamente mais barato, constitui bom isolante térmico, porém apresenta algumas desvantagens. Possui pouco aspecto estético pela limitação na escolha das plantas e devido ao reduzido crescimento das espécies vegetais, além de não poder ser utilizado para fins recreativos e de lazer (TOMAZ, 2003). Esse tipo de cobertura possui massa adicional de 70 a 170Kg m<sup>2</sup>.

Os telhados verdes são conhecidos por apresentarem diversos benefícios, tais como, contenção temporária da água da chuva, moderação da temperatura interna de edificações e, conseqüentemente, aumento da eficiência energética, absorção e retenção de poluentes atmosféricos, isolamento sonoro e atenuação do efeito de ilha de calor urbano (DUNNETT; KINGSBURY, 2008). Apresentam também vantagens econômicas que podem ser alcançadas pela redução do consumo anual de energia elétrica (variando de 2 a 7%) causada, principalmente, pelo uso de condicionadores de ar (NIACHOU et al., 2001; WONG et al., 2003). Assim, no Brasil, que é um país tropical, o consumo de energia poderá ser reduzido em até 30%. Alguns autores mencionam que, dependendo do tipo adotado, é

possível reduzir entre 50 e 90% dos volumes escoados (INGRA, 2010). A técnica do telhado verde consiste na aplicação e uso de vegetação sobre a cobertura de edificações com impermeabilização e drenagem adequadas, que surgem como alternativa de cobertura capaz de proporcionar vantagens sobre as coberturas convencionais (CASTRO; GOLDENFUM, 2008).

Para compor a estrutura dos telhados verdes são usados elementos fundamentais, como: a impermeabilização da estrutura, material drenante, como argila expandida ou brita; a camada contendo manta geotêxtil que evitará o arraste das partículas do solo; o solo e a vegetação. A escolha da vegetação adequada é um fator importante na eficiência do telhado verde, pois a mesma deve adaptar-se às mudanças bruscas de temperatura devido à exposição direta ao sol, chuva, vento, geada, entre outras (SILVA, 2011).

A substituição de coberturas tradicionais pela cobertura verde é ainda pouco difundida e conhecida no Brasil. Na Europa, entretanto, diversos países já possuem tecnologias desenvolvidas, conhecidas e aplicadas em telhados verdes. Tendo por base o que foi exposto, neste trabalho objetivou-se comparar o modelo de telhado verde construído com material reciclado e modelos já utilizados na literatura, avaliando a eficiência dos modelos quanto à capacidade em armazenar água da chuva, adaptação da vegetação, e a carga exercida pelos modelos em função dos diferentes substratos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido sobre laje horizontal com área de 12m<sup>2</sup>, com declividade de 1 a 2%, nos fundos de uma residência no condomínio Moradas, em Santa Maria - RS. A região possui um clima subtropical úmido. As coordenadas geográficas do local são: 23°08' 73,61"E, 67°09'45,79"S.

### TIPOS DE MODELOS

Os modelos foram construídos em recipientes de polipropileno (PP 0,5), com dimensões de 0,532x 0,373 x 0,086m (0,017m<sup>3</sup>), em três diferentes modelos com três repetições cada. Foram analisados os seguintes parâmetros: o conteúdo da água retido nos substratos, o escoamento de água nos telhados, efetividade de adaptação da vegetação e a carga total de cada modelo.

#### **Modelo 1 - Garrafa pet-solo-leiva**

O primeiro modelo foi construído com garrafas do tipo *PET* medindo 7 cm de altura que foram utilizadas como suporte para o substrato. Na parte inferior continham manta geotêxtil do tipo *Bidim* que funcionava como filtro das partículas menores. Posteriormente, foi adicionado 5 cm de

solo São Pedro, existente na região, e a vegetação. Foi utilizado como vegetação a gramínea *cultivar esmeralda* em leiva. Foram projetadas 3 bandejas contendo 14 garrafas *PET*, manta *Bidim*, solo e a vegetação, como observa-se na figura 1.

**Figura 1** - Construção do modelo 1: posicionamento das garrafas, colocação da manta *Bidim* e solo nos recipientes.



### Modelo 2 - Brita-solo-leiva

O segundo modelo contém 3 cm de brita nº 1, manta geotêxtil do tipo *Bidim* e 4 cm de solo São Pedro. A vegetação utilizada sobre o modelo foi gramínea do *cultivar esmeralda* em leiva, como é apresentado na figura 2.

**Figura 2** - Construção do modelo 2: colocação da brita, manta e solo.



### **Modelo 3 - Argila expandida-solo-leiva**

O terceiro modelo foi construído utilizando 3 cm de argila expandida, seguida da manta geotêxtil, 4 cm de solo e a vegetação. A vegetação utilizada foi gramínea *cultivar esmeralda* em leiva, como observa-se na figura 3.

**Figura 3** - Construção do modelo 3, colocação da argila, manta Bibim e solo.



## **MONITORAMENTO**

### **Controle visual**

Foi analisada a efetividade dos modelos referente à adaptação da vegetação ao sistema observando a evolução da vegetação. Para isso, os modelos em escala piloto foram fotografados semanalmente. A análise visual foi realizada dividindo-se as bandejas dos modelos em grades 3 x 4. Cada quadrante possuía 13,3 x 12,4 cm. O total dos quadrantes equivaleu a 100% e cada quadrante a 8,33% do total da bandeja. A avaliação ocorreu pela quantificação visual dos quadrantes verdes multiplicando por 8,33%.

## **Conteúdo de água retida**

Para a coleta do escoamento de água gerado em cada modelo, foram construídos drenos individuais, com diâmetro de 2 cm e comprimento de 30 cm, interligados por uma mangueira transparente de 3/16mm, desde a extremidade responsável pela condução do escoamento até o recipiente plástico de 3L e 2L. Os modelos de telhado verde foram monitorados no período de 01/11/15 a 25/11/2015. Neste período, foram observadas as seguintes variáveis: precipitação pluviométrica, escoamento de água nos telhados, e conteúdo da água retida. O monitoramento da precipitação pluviométrica foi realizado com pluviômetro instalado próximo aos modelos. Esse monitoramento permitiu a estimativa da precipitação pluviométrica incidente diretamente sobre os sistemas de telhado verde, desconsiderando quaisquer efeitos ao entorno.

O monitoramento do escoamento de água do telhado verde foi executado por meio da captação do fluxo da água percolada até o interior do recipiente de 2L. O volume de água retido nos modelos foi obtido pelo resultado da precipitação total incidente menos o volume de água percolado obtendo o volume total armazenado em L m<sup>-2</sup>. A coleta do escoamento foi realizada após o término de cada evento de precipitação pluviométrica, ou caso ocorresse o preenchimento total do coletor. Neste caso, o mesmo era registrado e substituído imediatamente. Os resultados das três (3) repetições foram somados e divididos pelo número de repetições, obtendo a média da água escoada ou retida por modelo.

## **Análise da carga total**

Para a análise da carga total dos modelos, foi realizado o procedimento de pesagem de cada um deles após as suas construções. Essa informação é importante do ponto de vista estrutural dos telhados. Para a realização das pesagens, foi utilizada balança eletrônica digital de alta precisão da marca Camry, com capacidade para 150 kg.

## **Acompanhamento**

Os modelos exigiram manutenções diárias, incluindo irrigação aplicada com mangueira de jardim. Segue figura 4, com elementos da preparação da bandeja, e figura 5, com a construção dos modelos na laje.

**Figura 4** - Bandeja com o coletor de condução do escoamento de água até o recipiente plástico de 3L e 2L.



**Figura 5** - Última etapa na construção dos modelos, colocação das leivas de gramínea e posicionamento na laje.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### OBSERVAÇÃO VISUAL

Observa-se na tabela 1, que na primeira semana o modelo contendo garrafas *PET* teve dificuldade para adaptar-se ao ambiente, com média de 27,8% de aspectos verdes. Na segunda semana, a leiva começou a apresentar melhoria, aumentando a percentagem média de adaptação, o que comprova que ela conseguiu enraizar-se no substrato, como se observa na figura 6. Nos modelos contendo argila expandida e brita, a grama não apresentou dificuldades, bem como suas repetições, mantendo uma percentagem média de adaptação superior a 70%.

**Tabela 1** - Percentagem da adaptação da vegetação, realizada pela divisão da leiva em quadrantes.

Data	Repetições	Percentagem adaptada (%)		
		PET	Brita	Argila
04/11/2015	R1	33,32	74,97	83,3
	R2	25	66,64	66,64
	R3	25	83,3	83,3
	Média	27,8	75,0	77,7
11/11/2015	R1	41,65	74,97	74,97
	R2	66,64	66,64	58,31
	R3	58,31	83,3	83,3
	Média	41,7	75,0	72,2
18/11/2015	R1	58,31	74,97	74,97
	R2	66,64	66,64	58,31
	R3	66,64	83,3	83,3
	Média	47,9	75,0	72,2

**Figura 6** - Imagem das raízes da grama no modelo 1.

A partir dos resultados apresentados, observa-se que o modelo 1, construído com garrafas *PET*, foi aquele que apresentou maior dificuldade de adaptação da vegetação durante a primeira semana. Após duas semanas a vegetação apresentou maior desenvolvimento, com crescimento de grama nas partes centrais dos modelos e maior enraizamento, salientando que em todos os modelos, as partes externas secaram devido ao contato com as laterais da bandeja, diminuindo a percentagem de adaptação, pois houve o ressecamento das bordas.



## CONTEÚDO DA ÁGUA RETIDA

O volume de água coletado foi medido e anotado como segue na tabela 2.

**Tabela 2** - Dados do volume de água excedente nos diferentes modelos.

Eventos chuvosos	Data	Precipitação (mm)	Repetições	PET (L)	Brita (L)	Argila (L)
1	05/11/2015	41	R1	20	2	1
			R2	15	3	3,75
			R3	15	3,75	6,25
			Média	16,7	2,9	3,7
2	05/11/2015	2	R1	1	0	0
			R2	1,3	0	0
			R3	2	0	0
			Média	1,4	0,0	0,0
3	10/11/2015	32	R1	3,75	6,5	8,75
			R2	3	7,5	8,25
			R3	6,5	7,25	9
			Média	4,4	7,1	8,7
4	10/11/2015	13	R1	3,75	2,75	5
			R2	5,25	1	3
			R3	2	3,5	6,25
			Média	3,7	2,4	4,8
5	11/11/2015	9	R1	7,5	1,25	1,75
			R2	1,5	5	3,75
			R3	1,5	1	5
			Média	4	2	4
6	13/11/2015	13	R1	7,5	1	1
			R2	7,5	1,5	1,5
			R3	3,75	2,5	2,5
			Média	6,3	1,7	1,7
7	17/11/2015	20	R1	0,5	0,1	0,875
			R2	0,75	0,625	2,5
			R3	1	2,5	3,8
			Média	0,8	1,1	2,4

Foi calculado a diferença da água excedente pela água precipitada, obtendo-se a água retida nos modelos, como se observa nas tabelas 3, 4 e 5.

**Tabela 3** - Retenção de água no modelo 1 - PET.

Eventos	Precipitação (L)	R1	R2	R3	Média de água retida (L)	Porcentagem de água retida (%)
1	41	21	26	26	24,3	59,3
2	2	1	0,7	0	0,56	28,3
3	32	28,3	29	26	27,6	86,2
4	13	9,25	7,8	11	9,33	71,8
5	9	1,5	7,5	7,5	5,5	61,1
6	13	5,5	5,5	9,3	6,75	52
7	20	19,5	19	19	19,25	96,25
Porcentagem média de água retida:						65,00
Desvio padrão:						22,5

**Tabela 4** - Retenção de água no modelo 2 - Brita.

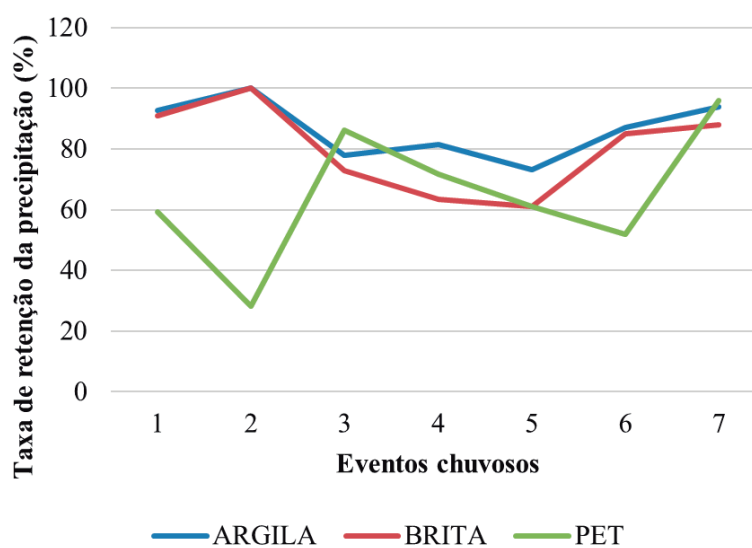
Eventos	Precipitação (L)	R1	R2	R3	Média de água retida (L)	Porcentagem de água retida (%)
1	41	39	38	37,25	38,1	92,8
2	2	2	2	2	2	100
3	32	25,5	24,5	24,75	24,9	77,8
4	13	10,25	12	9,5	10,6	81,4
5	9	7,75	4	8	6,6	73,1
6	13	12	11,5	10,5	11,3	87
7	20	19,5	19,4	17,5	18,8	94
Porcentagem média de água retida:						86,59
Desvio padrão:						9,6

**Tabela 5** - Retenção de água no modelo 3 - Argila.

Eventos	Precipitação (L)	R1	R2	R3	Média de água retida (L)	Porcentagem de água retida (%)
1	41	40	37,25	34,75	37,3	91,05
2	2	2	2	2	2	100
3	32	23,25	23,75	23	23,3	72,9
4	13	8	10	6,75	8,25	63,5
5	9	7,25	5,25	4	5,5	61,1
6	13	12	11,5	10	11	85
7		19,12	17,5	16,2	17,6	88
Porcentagem média de água retida:						80,22
Desvio padrão						14,66

A partir dos resultados obtidos e apresentados nas tabelas 3, 4 e 5, conclui-se que o modelo 2, o qual possui a brita como material drenante, possui percentagem de retenção de 86,6% da precipitação pluviométrica total. Observa-se que no modelo 1, o qual foi realizado com garrafas *PET*, os resultados foram satisfatórios, com retenção de água de 65%. No evento 3 e 7, devido a quantidade maior de dias antecedentes sem precipitação a absorção de água no solo foi maior. Nessa situação verificou-se que o modelo 1 apresentou maiores valores de retenção, devido à maior quantidade de solo existente entre os modelos. Na figura 7 é ilustrado a taxa de retenção da água da precipitação pluviométrica para os três modelos. Nos demais eventos verificou-se que o modelo com argila expandida foi o que apresentou maior capacidade de reter a água da precipitação, ocasionado pela alta capacidade do material em reter a umidade. Na maioria dos eventos o sistema com garrafas do tipo *PET* foi o que apresentou menor eficiência em reter a chuva, situação que pode ser explicada devido à presença de vazios entre as garrafas. Segundo Ingra (2010), um telhado verde retém de 50% a 90% da água da chuva, estando os resultados obtidos dentro do esperado, o que garante a eficiência do modelo contendo garrafas tipo *PET*.

Figura 7 - Percentagem do volume de água x eventos chuvosos.



## CARGA TOTAL

Na tabela 6, observa-se que os valores de massa obtidos nos modelos tiveram como resultados para o modelo de garrafas tipo *PET* a média de 56,5 Kg.m<sup>-2</sup>, sendo o modelo com uma média abaixo do valor de um telhado verde tradicional. Segundo Tomaz (2003), os resultados esperados para a massa adicional na estrutura variam de 70Kg.m<sup>-2</sup> a 170Kg.m<sup>-2</sup>. Os modelos de argila e brita tiveram resultados respectivamente de 67 Kg.m<sup>-2</sup> a 97 Kg.m<sup>-2</sup>, sendo que no modelo de brita o valor obtido ficou dentro do citado na literatura. Já no modelo de argila o valor obtido ficou abaixo do limite inferior citado por TOMAZ (2003), o que se justifica, pois a argila possui mais espaços vazios na sua composição.

**Tabela 6** - Valores das massas obtidas nos modelos.

Repetições	Massa dos diferentes modelos		
	PET	Brita	Argila
	(kg)		
R1	10,9	18,9	12,7
R2	11,8	19,6	13,7
R3	11,3	19,6	13,7
Média da bandeja	11,3	19,4	13,4
Média Kg.m-2	56,5	97	67

## CONCLUSÃO

Comparando os resultados obtidos nos 3 modelos, pode-se concluir que o modelo contendo garrafas do tipo *PET* tornou-se mais vantajoso, pois possui uma massa inferior em relação aos demais modelos. Desta forma, o uso em coberturas de telhados não causa comprometimento nas estruturas prediais devido ao sobrepeso. O resultado do trabalho foi satisfatório, concluindo-se que o modelo contendo garrafas *PET* atingiu as expectativas e pode ser considerado um modelo viável e eficiente em relação aos parâmetros analisados, sendo possível sua utilização. O modelo com garrafas *PET* pode ser utilizado em telhados de residências ou edifícios laje horizontal. A adaptação da vegetação no modelo contendo *PET* foi eficiente. A taxa de infiltração foi de 65% da precipitação pluviométrica incidente, comprovando que, assim como os outros modelos já utilizados, o modelo contendo *PET* contribui para diminuir os alagamentos.

## REFERÊNCIAS

CASTRO, A.; GOLDENFUM, J. **Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2008. 6f. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/LxvQmI>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

CORREA, C. B.; GONZALEZ, F. J. N. O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO-NUTAU. **Anais...** São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2008. 327p.

HENEINE, S. A. C. M. “**Cobertura Verde**”. 2008. 34f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

INGRA - INTERNATIONAL GREEN ROOFS ASSOCIATION. **A Quick Guide to Green Roofs**. 2010. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

NIACHOU, A. et al. Analysis of the Green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy Build**, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.

SILVA, N. C. **Telhado Verde**: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. 2011. 60f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil. Ênfase: Tecnologia e Produtividade das Construções) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, v. 5, p. 15-36.

WONG, N. H. et. al. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 2, p. 353-364, 2003.

