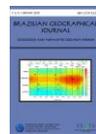




Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados

Mestre Karyna de Andrade Carvalho Rosseti

Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Linha de Pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos. **E-mail:** karyna.rosseti@gmail.com

Doutora Luciane Cleonice Durante

Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT. **E-mail:** luciane.durante@hotmail.com

Doutor Ivan Julio Apolonio Callejas

Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT. **E-mail:** ivancallejas@ig.com.br

Doutora Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, Professora do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Linha de Pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos. **E-mail:** mcjanp@gmail.com

Doutor José de Souza Nogueira

Professor do Departamento de Física/IF/UFMT, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. **E-mail:** nogueira@ufmt.br

RESUMO

ARTICLE HISTORY

Received: 14 October 2012

Accepted: 20 January 2013

PALAVRAS-CHAVE:

Telhado verde

Telhado ecológico

Desempenho energético

O telhado vegetado é uma tecnologia que apresenta resultados positivos como elemento de interação da construção e o meio ambiente. No Brasil, existe um número incipiente de pesquisas científicas desenvolvidas sobre este tipo de cobertura. O trabalho tem por objetivo apresentar os efeitos da instalação de telhados vegetados em regiões com diferentes características climáticas. Em termos econômicos, verificou-se que a implantação e manutenção do telhado vegetado demanda um custo inicial de 2 a 3 vezes superior ao convencional que pode

ser compensado pela redução do consumo energético anual e de pico. Além disso, observa-se melhoria no desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas do ar no interior do edifício, melhorando a sensação térmica dos usuários. Mesmo que o benefício econômico possa não ser significativo, dependendo da realidade climática de onde o mesmo é implantado, deve-se considerar as demais melhorias socioambientais identificadas pela incorporação do telhado vegetado no ecossistema urbano.

KEY-WORDS:

Green roof
Ecological roof
Energy performance
Thermal performance

Abstract: SYSTEMIC APPROACHES THE EFFECTS OF IMPLEMENTATION OF GREEN ROOFS. The green roof is a technology that provides positive results as an element of interaction between construction and environment. In Brazil, there is a number of incipient scientific researches undertaken on this type of roof. This paper aims to present the effects of installing green roofs in regions with different climatic characteristics. In economic terms, it was found that green roof implementation and maintenance requires an initial investment 2-3 times higher than a conventional roof. The initial investment can be compensated by the reduction of annual and peak consumption energy. In addition, there is improvement in thermal performance of the building, reducing air temperatures inside the building, which improve users's thermal sensation. Even if the economic benefit is not significant, depending on the green roof climatic implantation, it is necessary to consider social and environmental improvements benefits identified by the green roof incorporation in the urban ecosystem.

RESÚMEN:

Techo verde
Techo verde
Eficiencia energética

RESÚMEN – ENFOQUES SISTÉMICOS DE LOS EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE CUBIERTAS VEGETADAS. El techo de vegetación es una tecnología que proporciona resultados positivos como un elemento de interacción y el entorno de construcción. En Brasil, hay una gran cantidad de investigación científica incipiente emprendido en este tipo de cobertura. El documento tiene como objetivo presentar los efectos de la instalación de techos con vegetación en regiones con diferentes características climáticas. En términos económicos, se ha descubierto que la aplicación y el mantenimiento del techo de vegetación requiere un costo inicial de 2 a 3 veces mayor que un desplazamiento por el consumo anual de energía y máximo convencional. Además, hay una mejora en el rendimiento térmico del edificio, la reducción de la temperatura del aire dentro del edificio, la mejora de la sensación térmica de los usuarios. Incluso si el beneficio económico puede no ser significativo, dependiendo de la realidad climática del lugar donde se implementa, debe

considerar otras mejoras ambientales identificados por la incorporación de techo de vegetación en el ecosistema urbano.

Introdução

Como o espaço urbano se caracteriza por ocupação de um ambiente natural, nota-se modificações no padrão de seu microclima original, sua paisagem e sua fauna. Em cidades de pequeno porte, as alterações no padrão de ocupação do solo urbano são menos impactantes se comparados as de uma megacidade. Nesta última os impactos podem ser descritos em termos de poluição ambientais, aquecimento global, efeito de ilha de calor urbano, dentre outros (HUANG et al., 2009; ASSIS, 2006; CALLEJAS, 2012). Como resultado, altera-se o saldo energético original e, considerando a tendência de crescimento das cidades, é fundamental repensar os conflitos emergentes entre os ambientes natural e construído.

Uma tecnologia difundida na Alemanha desde a década de 70 e que vem apresentando resultados positivos como elemento de interação da construção com o ambiente natural, é o telhado vegetado, também denominado como cobertura vegetada, telhado verde ou telhado ecológico. Atualmente, no Brasil, existe um número incipiente de pesquisas científicas até então desenvolvidas com esse tipo de cobertura. Nesse sentido, faz-se necessária a divulgação desta prática, com vistas ao preenchimento de lacunas, tal como, falta de conhecimento sobre o assunto por parte da população, pelos setores industriais e órgãos administrativos do estado ou município.

Em geral, as plantas podem influenciar o microclima à sua volta por meio do sombreamento e da evapotranspiração. As folhas interceptam a maior parte da radiação solar incidente, reduzindo sua transmissão para as regiões e superfícies localizadas abaixo delas (OMETTO, 1981). Segundo Lesiuk (2011), as árvores são capazes de interceptar de 60% a 90% da radiação incidente. A maior parte desta radiação absorvida é transformada em calor latente e outra porção, muito pequena, em energia química por meio da fotossíntese. A evapotranspiração converte a água presente no solo e nas folhas em vapor d'água, resultando na redução da temperatura e elevação da umidade do ar circundante (SIMPSON e McPHERSON, 2001).

Telhados, paredes, varandas, e outras superfícies impermeáveis podem ser revertidas por paisagem viva, estendendo o ambiente natural para a pele urbana (JOHNSTON e NEWTON, 1996). A vegetação implantada em superfícies impermeáveis não é capaz de compensar integralmente a supressão do espaço natural provocado pela urbanização. No entanto, é uma forma de promover benefícios diretos sobre os edifícios, quando implantadas estrategicamente em torno dos mesmos (MATZARAKIS e ENDLER, 2010).

Brownlie (1990) descreve o telhado vegetado como "uma área de plantações ornamentais geralmente com um substrato natural, isolado do solo por uma estrutura feita pelo homem, de pelo menos um andar". O sistema de telhados

vegetados (Figura 1) consiste na sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície estrutural (suporte), que de modo geral incluem: membrana a prova de água (membrana impermeabilizante e anti-raiz), sistema de drenagem (membrana de retenção de nutrientes, material de drenagem e filtro), substrato (meio de cultura das vegetações) e vegetação (plantas). O número e tipo de camadas podem variar de acordo com a especificidade do sistema implantado.

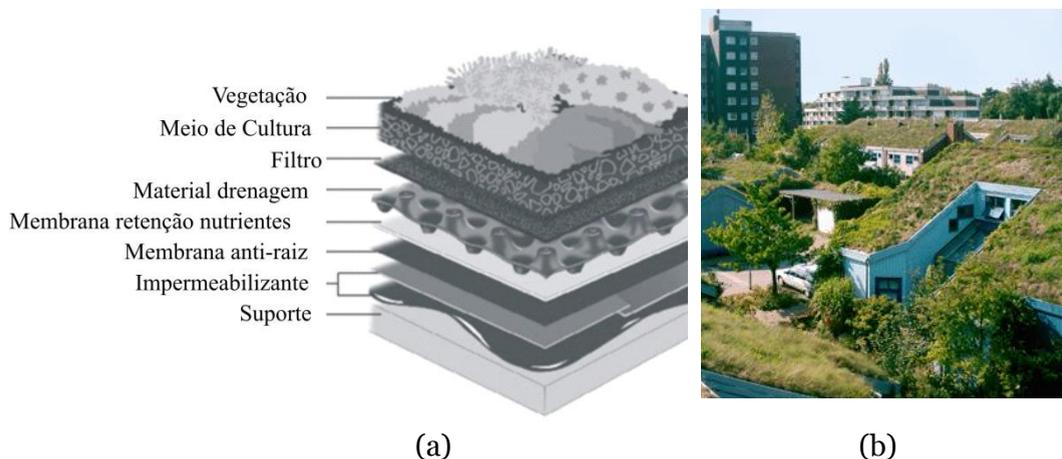


Figura 1 – (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado extensivo e (b) Exemplo de sistema extensivo de telhado vegetado na Austrália

Fonte: PROWELL (2006)

Os telhados vegetados podem ser classificados em intensivos e extensivos. A tipologia intensiva (Figura 2) é aquela na qual se instalam vegetações que necessitam de cuidados posteriores como rega, uso de fertilizantes, poda, dentre outros. Requerem camada de solo mais espessa, de acordo com a necessidade da planta, normalmente de 150 a 300mm, sendo que o peso desse substrato deve ser considerado, uma vez que pode ser superior a 400kg/m² (INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION, 2011).

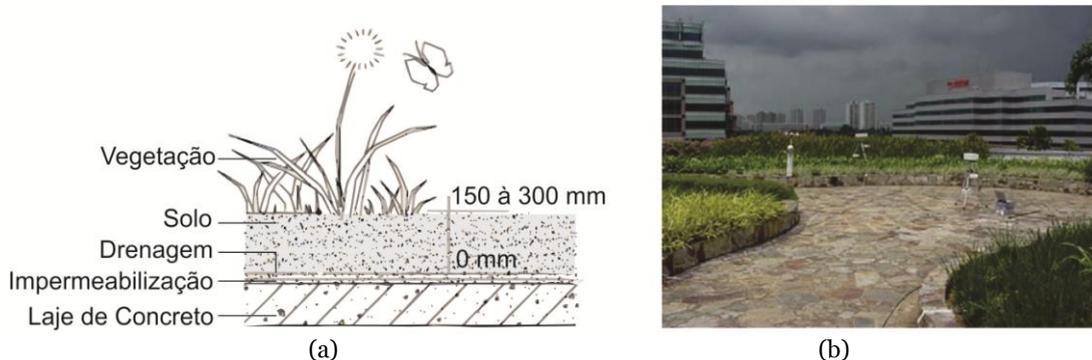


Figura 2 – (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado intensivo e (b) Exemplo de telhado vegetado de sistema intensivo em Singapura.
Fonte: Adaptado de Chen (2006)

A tipologia extensiva (Figura 3) é aquela na qual se aplica uma vegetação que, após consolidada, não requer cuidados constantes ou especiais. A camada de substrato tem por volta de 10 cm, e as plantas são rasteiras, como as gramíneas. Necessita de camada drenante e retentora de água de materiais pré-fabricados capazes de proporcionar o efeito de eliminar a água excedente, que pode ser captada, possibilitando seu retorno para o sistema de irrigação da cobertura. O peso do solo saturado de água varia de 73kg/m^2 a 170kg/m^2 , com espessura entre 50 e 150mm (PECK & KUHN, 2006).

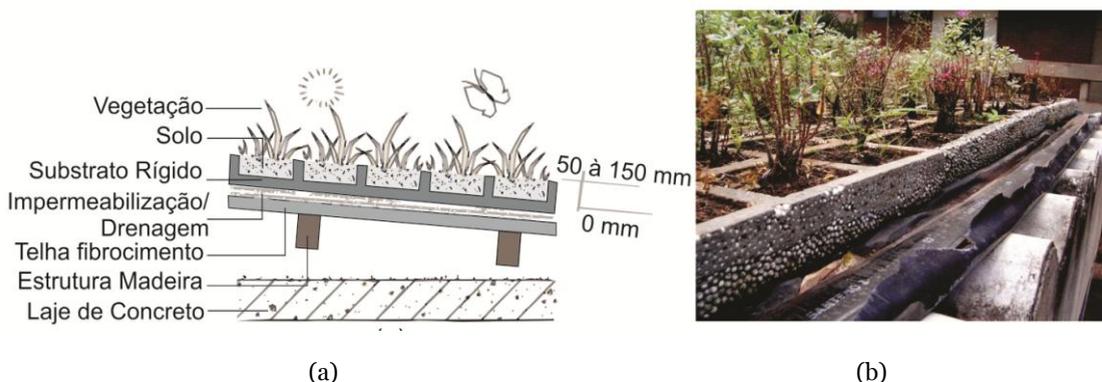


Figura 3 - (a) Detalhe das camadas de telhado verde extensivo e (b) Telhado Vegetado extensivo em Cuiabá-MT/Brasil.

Fonte: Adaptado de Rosseti (2009).

No Brasil, a tecnologia é pouco aplicada, tendo vivido uma relativa experiência durante o período moderno com a difusão do conceito Corbuseano de laje-jardim (KOHLENER; SCHMIDT; LAAR, 2003). No entanto, tal elemento foi explorado

apenas sob viés estético, não havendo grandes preocupações com as melhorias microclimáticas que esta tecnologia pudesse gerar.

Este trabalho tem por objetivo geral elaborar uma abordagem sistêmica dos efeitos decorrentes da implantação de telhados vegetados em diversas localidades e realidades climáticas. Os objetivos específicos foram: (a) analisar comparativamente os custos de implantação e manutenção das tipologias de telhado verde intensivo e extensivo em relação a uma tipologia usual de cobertura, (b) elaborar quadro síntese da abordagem sistêmica do referencial teórico pesquisado.

Material e método

De acordo com seus objetivos, esta pesquisa se classifica como exploratória, uma vez que aborda o problema de forma flexível, considerando vários aspectos do fato estudado, assumindo, quanto à técnica de coleta de dados, a forma de pesquisa bibliográfica, com análise de exemplos que estimulam sua compreensão (GIL, 2010).

A metodologia adotada para análise dos dados foi a abordagem sistêmica, que busca conjugar conceitos de diversas áreas de conhecimento a respeito de determinado objeto de pesquisa, com base na ideia de que este possui diversas dimensões e facetas que podem ser estudadas e entendidas pelas diversas áreas. Na abordagem sistêmica, a principal marca é a ausência de uma perspectiva unificada do objeto, podendo os conceitos e princípios, emanados de diferentes ciências, serem empregados no estudo e compreensão deste objeto (KASPER, 2000).

No ordenamento da abordagem sistêmica dos efeitos da implantação do telhado vegetado, buscou-se relações entre: (a) Conforto térmico no interior dos edifícios, (b) Orçamento energético dos edifícios, (c) Ilhas de calor urbanas (ICU), (d) Implicações no manejo das águas das chuvas, (e) Impactos na redução da poluição, (f) Redução do ruído, (g) Melhorias do espaço verde, (h) Preservação do habitat, (i) Valorização do imóvel e (j) Análise dos custos de implantação e manutenção.

No último ordenamento acima, análise dos custos de implantação e manutenção, foi feita comparação entre os sistemas de telhado vegetado e telhado convencional, com a composição dos custos de implantação e manutenção de uma unidade de área de cada tipologia, conforme TCPO (2010).

Na composição dos custos foram incorporados como custos de implantação e de manutenção no telhado vegetado intensivo, o acréscimo de sobrecarga na laje de forro de 150 para 420kg/m² e o sistema de irrigação. Foram desconsideradas as instalações de sistemas de captação de águas pluviais nas três tipologias e as manutenções de poda e fertilização nos telhados vegetados. Foram considerados, em cada tipologia, os serviços abaixo relacionados, que foram compostos em termos de fornecimento de material e mão de obra:

- Telhado convencional: laje de forro pré-moldada em concreto armado com sobrecarga de 150kg/m², estrutura para telha estrutural fibrocimento, em madeira aparelhada, apoiada em estrutura de madeira pontaletadas na laje,

telhamento em telhas de fibrocimento ondulada, espessura 6mm, incluso juntas de vedação e acessórios de fixação.

- Telhado vegetado intensivo: laje de forro pré-moldada em concreto armado com sobrecarga de 420kg/m², sistema de impermeabilização composto por impermeabilização com manta butílica espessura 0,8mm, incluso cinta de caldeirão e cola adesiva, sistema de drenagem composto de manta geotextil RT-31 (ant op-60) Bidim, camada drenante com brita 3, substrato de terra vegetal (e=20cm), vegetação de gramíneas de espécie nativa com adubo orgânico e irrigação de mangueira perfurada (1ml/m²).

- Telhado vegetado extensivo: laje de forro pré-moldada em concreto armado com sobrecarga de 150kg/m², estrutura para telha estrutural fibrocimento, em madeira aparelhada, apoiada em estrutura de madeira pontaletadas na laje, telhamento em telhas de fibrocimento ondulada, espessura 6mm, incluso juntas de vedação e acessórios de fixação; substrato rígido pré-moldado na forma de placas de concreto não estrutural, consumo 150 kg/m³ (1:3,5:7), espessura 6cm, preparo com betoneira, inclusive formas em chapa de madeira compensada e desmoldante, substrato de terra vegetal (e=4cm), vegetação de gramíneas de espécie nativa com adubo orgânico e irrigação de mangueira perfurada (1ml/m²). Os preços foram estimados conforme Sistema Nacional de Preços (CEF-SINAPI, 2012) para o mês de abril de 2012, Estado de Mato Grosso, Região Centro-Oeste do Brasil.

Com o objetivo de se utilizar referência de custo padrão, após a determinação dos custos das tipologias de telhado convencional, vegetado extensivo e vegetado intensivo, estes foram relativizados ao Custo Unitário Básico (CUB Médio Brasil), para o mesmo período.

Essa metodologia permitiu a apresentação de resgate teórico sobre telhados verdes e análise dos custos envolvidos em sua instalação.

Resultados

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, apresentam-se os efeitos passíveis de serem observados a partir da implantação do telhado vegetado em edifícios do espaço urbano, sistematizando a abordagem conforme os critérios estabelecidos na proposta metodológica.

a) Conforto térmico no interior dos edifícios

Um telhado verde reduz a temperatura da superfície do telhado e acrescenta camadas de isolamento que desaceleram o fluxo de calor através da cobertura. Com isso, menor energia térmica é transferida do telhado para o interior do edifício (GARTLAND, 2010). A magnitude do isolamento depende dos valores do Índice de Área Foliar (IAF), da vegetação empregada no sistema e da espessura do solo (CHEN e BLACK, 1992). Define-se IAF como a área foliar total por unidade de área de solo (m²/m²) (WANDELLI e MARQUES, 1999). Em comparação com uma tipologia de telhado convencional, as plantas com IAF baixo (IAF=1) podem reduzir pela metade o fluxo de calor em clima subtropical úmido (ONMURA; MATSUMOTO; HOKOI, 2001), e as plantas com IAF elevado (IAF=5) podem

evitar que mais de 80% do fluxo de calor chegue ao interior do edifício, conforme verificado por Chen (2006), em Singapura.

A cobertura é o fechamento pelo qual ocorrem as maiores transferências de fluxo de calor em um edifício e diferentes tipologias de cobertura resultam em ambientes térmicos diferenciados. Tem-se como exemplo, o estudo de Gupta et al. (2011) realizado em clima temperado oceânico, na cidade de Londres, para o período do verão, no qual observaram redução de 8°C na temperatura do ar interior do edifício, a partir da incorporação à cobertura em concreto impermeabilizado de telhado vegetado com espessura de 150mm e alta densidade de folhagem (IAF=5). Quando utilizada maior espessura de substrato, a diferença de temperatura externa e interna do ar alcançou 11,6°C, no mesmo período. No inverno, quando a temperatura externa atingiu -5,9°C, o telhado vegetado (IAF=5) manteve o ambiente 6°C mais aquecido, com substrato de 150mm e 7,4°C com substrato de 450mm. Destacam que a densidade da vegetação é o parâmetro mais significativo na caracterização do desempenho térmico do telhado vegetado no verão, enquanto que no inverno, a espessura do substrato tem maior influência.

Em região de clima equatorial, Wong et al. (2003) observou em Singapura, que o ganho de calor em telhado vegetado foi 78% menor que no telhado desprovido do sistema. O efeito de arrefecimento das plantas foi verificado na temperatura do ar interior dos ambientes cobertos pelo sistema, tendo sido detectada diferença de temperatura de até 4,2°C.

Segundo Parizotto e Lamberts (2011), o telhamento vegetado é uma estratégia que apresenta baixo custo de manutenção, mas que causa impactos significativos no desempenho térmico da edificação, favorecendo a obtenção de temperaturas amenas em seu interior diminuindo a dependência da utilização de sistemas de condicionamento artificial. Em uma base anual, para a cidade de Florianópolis, Brasil, o telhado vegetado reduziu o ganho de calor em 37 e 63% em relação aos telhados cerâmico e metálico, respectivamente, e aumentou a perda de calor em 22% em relação aos mesmos durante a primavera/verão. No outono/inverno a redução do ganho pelo telhado vegetado foi de 94 e 88% em relação aos telhados cerâmico e metálico, respectivamente, e o aumento da perda é de 65 e 30% em relação aos mesmos.

Este mesmo autor evidencia, também, a necessidade de dimensionamento adequado dos componentes das coberturas verdes, como, por exemplo, a espessura do substrato e a espécie da vegetação, para que o desempenho térmico da edificação nos períodos frios não seja comprometido e permitindo um melhor desempenho médio anual.

Resultado semelhante foi encontrado em clima tropical, na cidade de Cuiabá, por Rosseti (2009). Em protótipo no qual foi implantado telhado vegetado, foram observadas menores temperaturas internas do ar, em todos os horários do dia. No verão, a temperatura interna do ar no protótipo com telhado vegetado foi até 4,7°C menor que no protótipo com telhas de fibrocimento convencional.

Os resultados acima descritos evidenciam que o telhado vegetado pode ser utilizado como estratégia de adequação do conforto térmico no interior da edificação em diferentes tipos de clima, desde que devidamente dimensionados seus componentes, de forma a se obter as propriedades físicas requeridas. O

desempenho do telhado vegetado, nesse caso, deve ser compreendido como resultado dos efeitos da inércia térmica de suas camadas, do sombreamento da vegetação, que por sua vez, está relacionado à densidade de área foliar da espécie adotada e do fluxo de calor latente decorrente do fenômeno de evapotranspiração.

b) Orçamento energético dos edifícios

Atualmente, cerca de 50% do consumo de combustíveis fósseis mundial está relacionado com a produção de energia para manutenção dos edifícios (Vale & Vale, 1991). Pensar em alternativas para reduzir o consumo energético não é somente uma preocupação financeira, mas também, ambiental.

Neste sentido, Chen (2006) compara o consumo anual de energia de um prédio comercial de cinco pavimentos, localizado em Singapura, quando utilizadas diferentes tipologias de cobertura. Foi verificado o desempenho de um telhado convencional aparente (sem forro ou laje) e de uma laje plana impermeabilizada, ambos os casos antes e depois da colocação da cobertura vegetada, sendo esta executada com vegetação rasteira e com vegetação arbustiva. No caso do telhado convencional, o telhado com vegetação rasteira reduziu o consumo anual de energia em 19MWh (9,5%) e em 29MWh (19,5%), com vegetação arbustiva. O consumo energético de pico foi reduzido em 43,1kWh (46,9%) e 72,48kWh (78,9%) com cobertura em vegetação rasteira e arbustiva, respectivamente. Conclui-se, então, que a instalação de jardins em telhados aparentes proporciona redução do orçamento energético do edifício. Quando observados os resultados para a laje plana impermeabilizada, verificou-se impactos menores: o consumo anual de energia foi reduzido em 1MWh (0,6%) e 3MWh (1,8%) e o de pico, em 3.69KWh (17,0%) e 12.66KWh (58,2%), com vegetação rasteira e arbustiva, respectivamente.

Essa redução também foi observada por Gupta et al. (2011), em estudo realizado para a cidade de Londres, através de cenários elaborados no programa EnergyPlus. A incorporação de telhado vegetado com espessura de 150mm sobre laje de concreto impermeabilizada reduziu o consumo anual de energia em 13,5% (IAF=0,002) e 15% (IAF=5). Quando utilizou-se espessura de substrato de 450mm a economia no consumo anual de energia foi de 18% (IAF= 0,002) e 19,5% (IAF=5), confirmando a interferência da densidade da vegetação e da espessura de solo sobre o desempenho energético do edifício.

Em Campinas, no Brasil, Pereira de Mello et al. (2011) verificaram que a implantação da cobertura verde de 10cm de espessura sobre uma laje de concreto possibilitou economia de 622,2kWh (40%) no gasto de energia elétrica diária com ar condicionado. Considerando o valor fornecido pela distribuidora regional de energia de 2,225kWh/real esta economia corresponderia a R\$279,64/dia, o que resultaria em mais de R\$70.000 por ano.

Esses resultados quantitativos demonstram o potencial dos telhados vegetados enquanto estratégia para fins de redução de consumo de energia dos edifícios.

c) Ilhas de calor urbanas (ICU)

Chen (2006) revela que tanto telhados vegetados intensivos quanto extensivos trazem benefícios térmicos ao ambiente urbano, reduzindo a temperatura das

superfícies, resfriando o ar ambiente, reduzindo a radiação refletida, a temperatura de globo e o fluxo de calor pelo telhado.

Ao se considerar que as superfícies opacas convencionais do edifício absorvem, durante o dia, maior quantidade de radiação que as vegetadas, elas apresentam temperaturas superficiais mais elevadas e, conseqüentemente, emitem maior quantidade de radiação de onda longa para o ambiente externo durante a noite. As superfícies vegetadas, por outro lado, absorvem parte da radiação solar e protegem a superfície abaixo delas, dificultando a elevação da temperatura superficial, devido ao sombreamento. A radiação de onda longa emitida pelos telhados vegetados, por conseguinte, é inferior à emitida pelas superfícies opacas convencionais (CHEN, 2006).

Brad (2002) realizou estudo através de simulações computacionais utilizando modelo climático de meso escala para explorar o papel de telhados vegetados na mitigação do efeito da ICU, em Toronto, Canadá. Como resultado, observou-se redução de 0,5°C na ilha de calor urbana quando 5% da área total da cidade foi substituída por telhados verdes. O impacto da utilização da vegetação nos telhados em uma área de alta densidade foi ainda mais pronunciado, apresentando redução de 1 a 2°C nas temperaturas do ar em toda a cidade. O modelo previu ainda que, se coberturas verdes fossem instaladas em 10% dos telhados da cidade, a temperatura do ar, na camada limite urbana, poderia ser reduzida em até 2,8 °C (BRAD, 2002).

No Brasil, Rosseti (2013) também avaliou o efeito da cobertura verde no microclima do seu entorno através de um experimento, utilizando-se de protótipos localizados na cidade de Cuiabá-MT. O trabalho verificou uma redução de até 0,75°C na temperatura do ar e um aumento de até 12,3% na umidade relativa quando comparando as regiões próximas ao protótipo com telhado verde em relação a região mais afastada, com as mesmas característica morfológicas. Desta forma, a adoção da estratégia de telhado vegetado causa reflexos tanto na escala urbana, como em escala local, alterando as condições microclimáticas onde os edifícios se inserem.

d) Implicações no manejo das águas das chuvas

Em ambientes não urbanizados, 30% da água da chuva é armazenada em aquíferos superficiais e utilizada pelas plantas, enquanto os outros 30% se infiltram nos aquíferos mais profundos, fornecendo água a nascentes e rios, e os restantes 40% são devolvidos quase imediatamente à atmosfera pela evapotranspiração através do solo e das plantas. Em áreas urbanas, onde superfícies impermeáveis chegam a cobrir de 75% a 100% do terreno, apenas 5% da água da chuva atinge os aquíferos superficiais, 5% são armazenados em aquíferos profundos e 15% são utilizados imediatamente pela vegetação. Os 75% de precipitação restante torna-se escoamento superficial. Este escoamento é direcionado aos sistemas de esgoto e drenagem pluvial e direcionado aos córregos, lagoas e rios locais. À medida que esse escoamento passa sobre os diferentes pavimentos e ruas, ele recolhe material particulado, óleos, lixo e outros poluentes que podem degradar a qualidade das águas nos mananciais (GARTLAND, 2010).

Sob esta óptica, estudos têm mostrado que telhados verdes diminuem significativamente a quantidade de enxurrada, armazenando grande parte do volume de precipitação, eliminando posteriormente a água absorvida através da evaporação e transpiração das plantas (BENGTSSON; GRAHN; OLSSON, 2005). Em casos de chuvas mais intensas, os telhados verdes apresentaram um atraso no pico das enxurradas, quando comparados a outras superfícies impermeáveis, diminuindo o efeito combinado do encontro dessas correntes d'água (BENGTSSON, 2005).

Coberturas com 200 a 400mm de solo podem reter entre 100 e 150mm de chuva sobre a superfície da cobertura. Em Portland, Oregon, coberturas verdes capturam entre 10% e 100% da água da chuva que cai sobre elas, dependendo do quão saturado estava o solo da cobertura. Em dias secos, quase 100% da precipitação pode ser absorvida, mas em condições mais úmidas apenas 10-20% da precipitação pode ser retida pela cobertura (HUTSHINSON et al., 2003). Por causa de seus benefícios para o controle das águas de chuva, a cidade de Portland, Oregon, designou a utilização de telhados vegetados (ou "telhados ecológicos") para novas construções e reformas, como uma técnica aprovada para atender às exigências do sistema de gerenciamento de águas, contabilizando a área dos telhados como área parcialmente permeável (PORTLAND, 2002).

Carter & Rasmussen (2005) realizaram estudo em cobertura composta por telhado vegetado extensivo tradicional com 7,5 cm de espessura na Universidade da Geórgia. O estudo demonstrou redução de 80% no volume total da enxurrada e um atraso médio de dezoito minutos do instante de pico, quando comparado a uma cobertura convencional.

Estudos desenvolvidos na Alemanha entre 1987 e 2003, organizados por Mentens; Raes e Hermy (2006), revelaram uma redução de 85 a 65% no escoamento anual das águas de chuva pela utilização do telhado verde intensivo e de 81 a 27% pelo extensivo.

Desta forma, é possível verificar que o comportamento hidrológico proporcionado pelo telhado vegetado não só influencia a quantidade da água escoada superficialmente, mas também o intervalo de tempo para o seu início.

No Brasil, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, Oliveira (2009) verificou, através da implantação dos telhados verdes em habitações populares, redução de 56% do volume precipitado e um retardo de 8 minutos da ocorrência do pico, quando comparado ao desempenho de um telhado convencional de fibrocimento.

Ohnuma Júnior; Halasz e Mendiondo (2011) verificaram que o telhado vegetado é 56% mais eficiente na retenção hídrica do que o telhado convencional. Quantitativamente, obteve-se uma relação de 48% do valor total da lâmina escoada em relação ao total precipitado (Figura 4).

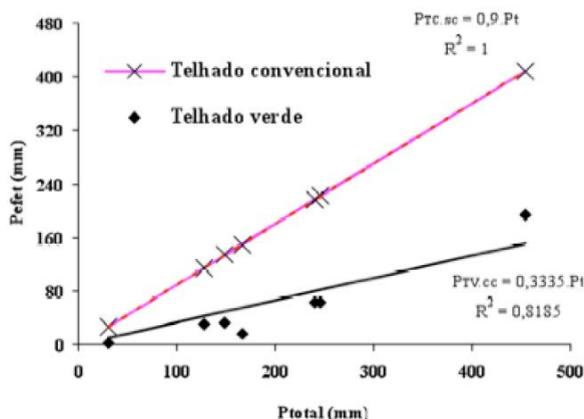


Figura 4 – Eficiência de retenção hídrica entre telhado verde e telhado convencional
Fonte: Adaptado de OHNUMA JUNIOR, 2008

Baldessar (2012) realizou estudo comparativo entre telhado composto por telhas de barro e telhado vegetado intensivo através de medições em protótipos e simulação computacional. Verificou-se, tanto nos resultados de medição diária, quanto nos de simulação utilizando o software Green Roof da IUPWARE (2013), benefícios do uso do telhado verde no processo de gestão de águas pluviais, sendo que o telhado vegetado apresentou escoamento de 30,7% de toda a água precipitada, enquanto o telhado de barro, de 77,3%.

Assim, destaca-se que os mecanismos de evapotranspiração e de armazenamento propiciados pela utilização do telhado vegetado podem contribuir para redução dos picos e da intensidade do escoamento superficial, reduzindo a ocorrência de enchentes e custos com implantação de infra-estrutura de drenagem nas cidades.

e) Impactos na redução da poluição

A utilização de coberturas verdes reduz a poluição do ar de forma direta e indireta. Reduções diretas ocorrem pela redução no consumo de energia para aquecimento, que significa uma redução das emissões de poluentes a partir das usinas geradoras de energia. Reduções indiretas da poluição do ar podem ocorrer se os telhados vegetados forem utilizados em quantidade suficiente para reduzir os efeitos da ilha de calor e, conseqüentemente, reduzir a temperatura do ar de uma região, diminuindo assim a necessidade de aquecimento artificial (GARTLAND, 2010).

Alem disso as plantas retiram os poluentes do ar absorvendo gases ou coletando partículas através de suas folhas. Esse tipo de retirada de poluentes é chamado deposição seca, uma vez que se realiza sem o auxílio de precipitação. A deposição seca pode remover óxido de nitrogênio (NO_x e NO_2), óxidos de enxofre (SO_x ou SO_2), material particulado (PM_{10} , ou partículas com diâmetro inferior $10\mu\text{m}$) e ozônio (O_3) (McPHERSON, 1998; SCOTT; MCPHERSON; SIMPSON, 1998).

Coberturas verdes de 100 m² podem remover cerca de 20 kg de material particulado do ar em um ano (GARTLAND, 2010). Estima-se que 2.000 m² de grama em um telhado poderia remover 4.000 kg de partículas em suas folhas e caules (JOHNSON; NEWTON, 1996). Minke e Witter (1982) sugerem que 1 m² de grama, sem cortes, em um telhado iria criar oxigênio suficiente para satisfazer as necessidades de um ser humano por mais de um ano.

Clark et al. (2005) estimam que, se 20% de todas as superfícies dos telhados industriais e comerciais em Detroit fossem substituídos por telhados verdes extensivos, mais de 800.000kg (889 toneladas) por ano de NO₂ seriam removidos do ar. Em Singapura, o dióxido de enxofre e ácido nitroso foram reduzidos em 37% e 21%, respectivamente, acima de um telhado vegetado (TAN; SIA, 2005).

Se em 20% de todos os edifícios existentes em Washington fossem instalados telhados verdes, a vegetação resultante iria remover a mesma quantidade de poluição do ar que 17.000 árvores de rua (DEUTSCH et al., 2005).

Além disso, as raízes das plantas podem também remover algumas das impurezas da água antes da sua entrada nos aquíferos. As impurezas, tais como azoto ou fósforo, ligam-se quimicamente com alguns tipos de partículas do solo, sendo absorvidas pelas plantas e, conseqüentemente, removidas do solo. Acredita-se que a maioria do cobre, cádmio e chumbo, bem como zinco notável e nível de azoto podem ser retirados da água da chuva pelas plantas (JOHNSON; NEWTON, 1996).

f) Redução do Ruído

O excesso de ruído não é apenas irritante, também pode levar a problemas de saúde como hipertensão, deficiência auditiva, doenças do coração, distúrbios do sono e diminuição do desempenho escolar (ÖHRSTRÖM, 1991; PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000). Níveis elevados de ruído são observados em áreas urbanas, principalmente em espaços fechados, cercados por edifícios altos, cânions de ruas, e perto de áreas industriais e aeroportos.

Telhados convencionais são geralmente superfícies reflexivas no pondo de vista sonoro, de modo que o potencial destas superfícies de reduzir a pressão sonora das ruas ou mesmo de outras fontes pode ser elevado através da implantação de telhados verdes. A vegetação em conjunto com o substrato de crescimento absorvem as ondas sonoras em um grau maior que as superfícies de cobertura tradicionais. Van Renterghem e Botteldooren (2008, 2009) estudaram os efeitos do uso do telhado verde intensivo e extensivo nos níveis de pressão sonora urbanos. Eles encontraram uma relação linear entre a porcentagem de edifícios com telhado coberto de vegetação e a redução da pressão sonora no lado oposto do edifício, a partir da fonte de ruído.

Tal atenuação se deve a característica do substrato dos telhados verdes, as ondas sonoras entram no espaço dos poros presentes no solo e são atenuadas por numerosas interações com as partículas de substrato (VAN RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2009). A profundidade do solo interfere na redução do ruído, sendo intensificada até uma profundidade de 20cm, a partir daí não se observam muitas alterações.

Van Renterghem e Botterlidooren (2008) observaram que o efeito da presença de telhados vegetados, em relação a coberturas convencionais, provoca uma redução do ruído no interior do cânion em torno de 6 dB a 1000 Hz, quando 80% das coberturas recebem o telhado vegetado. Dunnett e Kingsbury (2004) verificaram que a implantação do telhado verde extensivo, de 10 cm de substrato, na cobertura do aeroporto de Frankfurt, na Alemanha, foi capaz de reduzir os níveis de ruído em 5 dB.

g) Melhorias do espaço verde

Alguns pesquisadores acreditam que a necessidade de um contato com a natureza pode ser tão importante para as pessoas quanto a necessidade de relações interpessoais (KAPLAN, 1993). Além disso, a ausência de um contato com a natureza pode ser visto "como um fator contribuinte para o aumento dos níveis de estresse e insatisfação geral dentro da sociedade moderna" (ZUBEVICH, 2004).

Um edifício com telhado vegetado oferece aos seus ocupantes proximidade com espaços comuns onde se podem realizar atividades de lazer. Um estudo com inquilinos de um edifício, em Toronto, revelou que a construção valorizou o acesso ao telhado verde e seus ocupantes referem-se a ele como "um oásis na cidade" (COHNSTAEDT; SHIELDS; MACDONALD, 2003).

h) Preservação do habitat

Muitos autores relatam que a adição de espaços verdes sob a forma de telhados vegetados, em ambientes urbanos densamente povoados, oferece um habitat eco-reparador para a fauna urbana, até então deslocada. Telhados verdes fornecem alimentação, habitat, abrigo, oportunidades e um lugar seguro para o descanso de aranhas, besouros, borboletas, pássaros e outros invertebrados (BRENNEISEN, 2003; GEDGE, 2003).

Em um estudo desenvolvido por Brenneisen (2003) foram identificados em 17 telhados verdes localizados em Basel, Suíça, 78 espécies de aranha e 254 espécies de besouros durante os primeiros 3 anos. Dezoito por cento dessas aranhas e 11% dos besouros foram listadas como ameaçadas ou raras (BRENNEISEN, 2003).

Em um dos maiores telhados vegetados do mundo, em Dearborn, Michigan, com 42.900m² e 7,6 cm de espessura, em seus primeiros 2 anos de estabelecimento, fora identificadas 29 espécies de insetos, 7 espécies de aranhas, e 2 espécies de aves (COFFMAN, DAVIS, 2005).

Estudos relatam que esta elevação em relação ao ecossistema urbano oferece proteção contra os predadores, contra o ruído do tráfego e a intervenção humana (FEDERAL TECHNOLOGY ALERT, 2004). Johnston & Newton (1994) destacam ainda que borboletas podem acessar os espaços verdes localizados no vigésimo andar de um edifício.

i) Valorização do imóvel

Entrevistas com os coordenadores sociais e ambientais do Mountain Equipment Coop (MEC) de Toronto e do Grupo Imobiliário Urban Space, revelaram que telhados verdes têm melhorado a estética e o valor de mercado do edifício (ROBINSON, 2005).

j) Análise de custos de implantação e manutenção

Segundo Parizotto e Lamberts (2011), o telhado vegetado é uma estratégia que apresenta baixo custo de manutenção, mas que causa impactos significativos no desempenho térmico da edificação.

Connelly e Liu (2005) afirmam que o telhado vegetado intensivo exige necessidade de manutenções periódicas como irrigação, podas e fertilização, devido o porte rasteiro e até arbustivo de sua vegetação, além de demandar um maior custo inicial de instalação. Os sistemas extensivos requerem menor manutenção, pois pela sua própria concepção, geralmente utilizam espécies vegetais tolerantes às condições ambientais adversas, que ainda tem seu crescimento restringido pela pequena espessura do solo presente nesta cobertura.

O telhado vegetado extensivo pode apresentar dificuldades na sua execução. Estas se devem a carência de empresas detentoras da tecnologia de produção das placas do substrato rígido e a indisponibilidade de oferta deste produto na maioria das casas comerciais especializadas. Com isso, há necessidade de aquisição do substrato rígido de outros locais, demandando gastos adicionais com o seu transporte. Em contrapartida, tendo em vista a simplicidade das placas, as mesmas podem ser moldadas *in loco*, ou seja, produzidas no próprio canteiro de obras. Detalhes de dimensões e moldagem podem ser encontrados em Rossetti (2009).

No caso do telhado vegetado intensivo a problemática maior está no sistema de impermeabilização, considerando que a cobertura permanecerá encharcada de água durante muitas horas do dia. A maioria dos sistemas de impermeabilização encontrados no mercado local não estão adequados à esta realidade, demandando uma atenção especial. No caso da cobertura verde extensiva, elimina-se esta situação, uma vez que o substrato rígido se apoia sobre as telhas de fibrocimento com inclinação mínima garantida.

Pereira de Mello et al. (2011) realizou estudo de viabilidade econômica da implantação de telhados vegetados extensivos, em um complexo institucional de cerca de 3.600m². Estimou custo de R\$90,00 por metro quadrado, considerando sua aplicação em grandes extensões de cobertura, como a do estudo. O investimento inicial é alto, segundo os autores, porém, a redução do consumo de energia elétrica compensa o investimento. O tempo de retorno calculado foi de menos de 5 anos.

Os custos para implantação e manutenção dos sistemas de cobertura verde revelam a necessidade de um elevado investimento inicial. O custo do telhado convencional é de 11% do CUB Médio Brasil (Tabela 1) e dos telhados vegetados extensivos e intensivos é de 23,6 e 33%, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Desta forma, os custos de implantação dos telhados vegetados extensivo e intensivo são, respectivamente, cerca do dobro e do triplo do custo de implantação do telhado convencional.

Tabela 1 – Composição de custos do telhado convencional e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (150 kg/m ²)	m ²	60,53	57,2%	6,3%
Telhamento sobre estrutura de madeira	m ²	45,22	23,80%	2,6%
Preço Total		105,75	100,0%	11,0%

Tabela 2 – Composição de custos do telhado vegetado extensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (150 kg/m ²)	m ²	60,53	57,2%	6,3%
Telhamento sobre estrutura de madeira	m ²	45,22	23,80%	2,6%
Drenagem	m ²	17,42	7,71%	1,8%
Substrato rígido	m ²	83,27	36,87%	8,6%
Solo	m ²	4,58	2,03%	0,4%
Vegetação	m ²	14,62	6,47%	1,5%
Irrigação	m ²	2,00	0,89%	0,2%
Preço Total		225,84	100,00%	23,6%

Tabela 3 – Composição de custos do telhado vegetado intensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (450 kg/m ²)	m ²	169,84	53%	18%
Drenagem	m ²	32,47	10%	3%
Solo	m ²	18,32	6%	2%
Vegetação	m ²	15,05	5%	2%
Irrigação	m ²	2,00	1%	0%
Impermeabilização	m ²	81,65	26%	9%
Preço Total		319,33	100%	33%

Esse investimento inicial pode ser recuperado, conforme sistematizado no quadro resumo (Quadro 1), que evidencia o potencial de redução de energia dos telhados vegetados, a redução da temperatura interna do ar dos ambientes e demais benefícios na escala do edifício e urbana.

No quadro 1 são apresentados, de forma resumida, resultados quantitativos que foram obtidos com a implantação de telhados vegetados em diversas localidades, especificadas as suas classificações climáticas e localização geográfica já discutidos anteriormente.

Quadro 1 – Resumo dos resultados quantitativos dos ordenamentos da abordagem sistêmica sobre telhado verde

Benefício	Cidade	Clima	Lat./Elev.	Referência	Resultados		
Conforto térmico no interior dos edifícios	Osaka (Japão)	Subtropical Úmido	34°40'54"N/83m	Onmura (2001)	Telhado vegetado (LAI=1) diminuem 50% do fluxo de calor pela cobertura		
	Singapura (Singapura)	Equatorial	1°17'22"N/1m	Chen (2006)	Telhados vegetados (LAI=5) diminuem 80% do fluxo de calor pela cobertura		
				Wong (2003)	Redução de 78% do ganho de calor pelo telhado Redução de 4,2°C na temperatura do ar interno		
	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30"N/21m	Gupta et al. (2011)	Telhado (LAI 5) sobre laje em concreto impermeabilizado	Temperatura do ar interno - Verão:	150mm de solo: redução de 8°C 450mm de solo: Redução de 11,6°C
						Temperatura do ar interno - Inverno	150mm de solo: Elevação de 6°C 450mm de solo: Elevação de 7,4°C
Cuiabá (Brasil)	Tropical	15°35'46"S/176m	Rosseti (2009)	Redução de 4,7°C na temperatura do ar interno			
Redução no orçamento energético dos edifícios	Singapura (Singapura)	Equatorial	1°17'22"N/1m	Chen (2006)	Consumo anual de energia - Telhado vegetado sobre telhado padrão (sem laje)	cobertura em vegetação rasteira redução de 19MWh (9,5%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 29MWh (19,5%)	
					Consumo anual de energia - Telhado vegetado sobre laje	cobertura em vegetação rasteira redução de 11MWh (0,6%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 3MWh (1,8%)	
					Consumo no pico - Telhado vegetado sobre telhado padrão (sem laje)	cobertura em vegetação rasteira redução de 43,1kWh (46,9%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 72,48kWh (78,9%)	
	Consumo no pico - Telhado vegetado sobre laje	cobertura em vegetação rasteira redução de 3.69kWh (17,0%)					
		cobertura em vegetação arbustiva redução de 12.66kWh (58,2%)					
	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30"N/ 21m	Gupta et al. (2011)	Consumo anual de energia	150mm de solo: redução de 13,5% (LAI 0,002) redução de 15% (LAI 5)	
						450mm de solo: redução de 18% (LAI 0,002) redução de 19,5% (LAI 5)	
Campinas (Brasil)	Tropical de Altitude	22°54'20"S/854m	Mello et al. (2011)	Economia no consumo diário de energia	100mm de solo		
					622,2kWh(40%)	R\$279,64 por dia	

Quadro 1 – cont.

Benefício	Cidade	Clima	Lat./Elev.	Referência	Resultados		
Redução dos efeitos das Ilhas de Calor Urbanas (Urban Heat Island - UHI)	Toronto (Canadá)	Temperado Continental Úmido	43°42'00" N/173 m	Brad (2002)	Temperatura do ar em mesoescala urbana	em 5% dos telhados	redução de 0,5°C
						em 10% dos telhados	redução de 2,8°C
	Cuiabá (Brasil)	Tropical	15°35'46" S/176m	Rosseti (2009)	Entorno do telhado vegetado	temperatura do ar	redução de 0,75°C
						umidade do ar	aumento de 12,3°
Implicações no manejo das águas das chuvas	Portland, Oregon (USA)	Temperado Oceânico	45°31'24" N/61m	Dawson (2002); Portland (2002)	Absorção da água de chuva	solo de 200 a 400mm de espessura	dias secos em torno de 100% dias úmidos 10 à 20%
	Athens, Georgia (USA)	Subtropical Úmido	33°56'59" N/194 m	Carter & Rasmussen (2005)	Absorção da água de chuva Atraso no momento do pico	solo de 75mm de espessura	80% 18min
	ciudades da Alemanha	Temperado quente e úmido	–	Mentens et al. (2006)	Escoamento anual da água da chuva	telhado intensivo telhado extensivo	85 a 65% 81 a 27%
	Rio de Janeiro (Brasil)	Tropi-cal	22°54'10" S/2m	Oliveira (2009)	Absorção da água de chuva Atraso no momento do pico	solo de 100mm de espessura	56% 8min
	São Carlos-SP	Temperado Úmido	22°01'03" S/854m	Ohnuma Jr. et al (2011)	Absorção da água de chuva	eficiência em relação ao telhado convencional	56%
	Curitiba - PR	Temperado Úmido	25°25'40" S/934m	Baldessar (2012)			39,7%
	Impactos na redução da poluição	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30" N/21m	Johnson & Newton (1996)	Redução de material particulado do ar	2000m ² de telhado vegetado
Frankfurt (Alemanha)		Temperado Oceânico	49°40'59" N/365 m	Minke e Witter (1982)	Produção de oxigênio	1m ² de grama	necessário para 1 indivíduo por 1 ano
Detroit, Michigan (USA)		Temperado Úmido	42°19'53" N/181 m	Clark et al. (2005)	Remoção de NO ₂ do ar	20% da cidade com telhados verdes	889 toneladas
Singapura (Singapura)		Equatorial	1°17'22" N/1m	Tan & Sai (2005)	Remoção de SO ₂ do ar	75% da área de estudo com telhado verde	37%
					Remoção de HNO ₂ do ar		21%
Washington, D Columbia (USA)	Subtropical Úmido	38°53'42" N/11 m	Deutsch et al. (2005)	Remoção da poluição do ar	20% da cidade com telhados verdes	equivalent e a 17.000 árvores	

Quadro 1 – cont.

Benefício	Cidade	Clima	Lat./Elev.	Referên-cia	Resultados		
Redução do Ruído	—	—	—	Van Renterghem e Botterlidooren (2008)	Diminuição do ruído urbano	80% da área de estudo com telhado verde	6dB a 1.000Hz
	Frankfurt (Alemanha)	Temperado Oceânico	49°40'59" N/ 365 m	Dunnett e Kingsbury (2004)	Diminuição do ruído local	Telhado do Aeroporto	5dB
Preservação do habitat	Basel (Suíça)	Oceânico	47°33'33" N/ 261 m	Brenneisen (2003)	Ambiente de desenvolvimento de seres vivos	Aranhas	78 espécies
						Besouros	254 espécies (11% ameaçados de extinção)
	Aranhas	7 espécies					
	Insetos	29 espécies					
	Dearborn Michigan (USA)	Continental Úmido	42°19'20" N/ 181 m	Coffman & Davis (2005)		Aves	2 espécies

O Quadro 1 evidencia que houve redução do fluxo de calor pela cobertura devido ao telhado vegetado e, conseqüente, melhoria do conforto térmico dos ambientes internos nos climas temperado oceânico, equatorial, tropical e subtropical úmido. Nota-se que a redução no orçamento energético dos edifícios é proporcional ao aumento do IAF da espécie da vegetação e à espessura do solo, independente da localidade geográfica. Nos trabalhos pesquisados, ocorreu redução no consumo energético anual de 0,6 a 19,5% e no consumo de pico, de 17 a 78,9%, em climas temperado e equatorial. No clima tropical de altitude, a economia foi de 40% no consumo diário.

Em clima temperado continental úmido, por meio de simulação em escala mesoclimática, aumentando-se a área de telhados vegetados, reduziram-se os efeitos da ilha de calor urbana, tendo sido, também, verificados seus efeitos em clima tropical, em escala microclimática. O telhado vegetado absorve maior quantidade de água de chuva se comparado a telhados convencionais (39 a 85%), em climas diversos, podendo reter 100%, em caso de clima com baixo índice pluviométrico.

Nota-se que o telhado verde apresenta impactos positivos na remoção da poluição do ar, na redução do ruído urbano e propicia condições ambientais para o desenvolvimento de seres vivos, independente das condições climáticas onde são instalados, revelando o seu potencial para a melhoria do ecossistema urbano.

Conclusão

Os estudos demonstram os efeitos da implantação do telhado vegetado na escala do edifício e da cidade, sendo, em sua maioria, benéficos em todos os apontamentos levantados.

Em termos econômicos, nota-se que a implantação e manutenção do telhado demanda um custo inicial 2 a 3 vezes superior ao de um telhado convencional. No entanto, este investimento pode ser recuperado pela redução do consumo energético anual e da demanda de pico. O tempo de retorno do investimento foi estimado em menos de 5 anos. No entanto, deve-se utilizar este dado com

cuidado, pois os benefícios são variáveis em função do local e clima de implantação.

Além disso, observa-se melhoria no desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas do ar no interior do edifício nos períodos quentes, melhorando a sensação térmica dos usuários nestes ambientes. Mesmo que o benefício econômico possa não ser significativo, dependendo da realidade climática de onde o mesmo é implantado, deve-se considerar as demais melhorias socioambientais identificadas pela incorporação do telhado vegetado no ecossistema urbano.

Referências

- ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, Salvador, n. 9, p. 10-25, 2006.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 124 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BENGTSSON, L. Peak flows from thin sedum-moss roof. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 269-280, 2005.
- BENGTSSON, L., GRAHN, L., OLSSON, J. Hydrological function of a thin extensive Green roof in southern Sweden. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 259-268, 2005.
- BRAD, B. Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. In: URBAN HEAT ISLAND SUMMIT—MITIGATION OF AND ADAPTATION TO EXTREME SUMMER HEAT, Toronto, 2002.
- BRENNEISEN, S. The benefits of biodiversity from green roofs – key design consequences. In: PROCEEDINGS FROM GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES: FIRST NORTH AMERICAN GREEN ROOF INFRASTRUCTURE CONFERENCE, Chicago, 2003.
- BROWNLIE, I. **Principles of public international law**, 4 ed , New York, 1990. 748p.
- CALLEJAS, I. J. A. **Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT**. 265f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2012.
- CARTER, T. L., RASMUSSEN, T. C. Use of green roofs for ultra-urban stream in the Georgia Piedmont (USA). In: 3^a NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES. Washington, The Cardinal Group, Toronto. 2005. p.526-539.
- CEF. Caixa Econômica Federal. SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de **Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br/download/index.asp>>. Acesso em: maio de 2012
- CHEN, J. M.; BLACK, T.A. Foliage area and canopy architecture of plant canopies from sunfleck size distributions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, p. 249-266, 1992.
- CHEN, Y. **The Intervention of plants in the conflicts between buildings and climate – A case study in Singapore**. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy department of building national University of Singapore , 2006.
- CLARK, C., TALBOT, B., BULKLEY, J., ADRIAENS, P. Optimization of green roofs for air pollution mitigation. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto. 2005.
- COFFMAN, R. R.; DAVIS, G. Insect and avian fauna presence on the Ford assembly plant ecoroof. In: THIRD ANNUAL GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES CONFERENCE, AWARDS AND TRADE SHOW. 2005. p. 4-6.
- COHNSTAEDT, J.; SHIELDS, J.; MACDONALD, M. New workplace commons, a study of innovative support for cultural and social enterprises in both the not-for-profit and for-profit sectors (401 Richmond). **Commissioned by Canadian Heritage**, 2003.

- CONNELLY, M.; LIU, K. Green roof research in British Columbia: an overview. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto. 2005. p. 416-432.
- PEREIRA DE MELLO, G. B.; COSTA, M. D. P.; ALBERTI, M. S.; FREITAS FILHO, R. D. G. Estudo da implantação de um telhado verde na Faculdade de Engenharia Mecânica. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 6, n. 2, 2011.
- DEUTSCH, B.; WHITLOW, H.; SULLIVAN, M.; SAVINEAU, A. Re-Greening Washington, DC: a green roof vision based on environmental benefits for air quality and storm water management. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto. 2005.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Portland, OR: Timber Press, 2004.
- FEDERAL TECHNOLOGY ALERT. Green Roofs, Produced for the U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, by the **National Renewable Energy Laboratory**. DOE/EE-0298. Agosto 2004.
- GARTLAND, L. **Iilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Silvia Helena Gonçalves (Trad.). São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 243 p.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**; Methods and techniques of social research. São Paulo, Atlas. 2010
- GEDGE, D. From Rubble to Redstarts. Black Redstart Action Plan Working Group. In: PROCEEDINGS FROM GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, FIRST NORTH AMERICAN GREEN ROOF INFRASTRUCTURE CONFERENCE, Chicago. 2003.
- GUPTA, A.; HALL, M. R.; HOPFE, C. J.; REZGUI, Y. Building integrated vegetation as an energy conservation measure applied to non-domestic building typology in the UK. In: PROCEEDINGS OF BUILDING SIMULATION 2011:12TH CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, Sydney. 2011.
- HUANG, S.; TANIGUCHI, M.; YAMANO, M.; WANG, C. Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment – a case study of Osaka. **Science of the Total Environment**, v.407, p3142-3152, 2009.
- HUTCHINSON, D.; ABRAMS, P.; RETZLAFF, R.; LIPTAN, T. Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland, Oregon, USA. **City of Portland Bureau of Environmental Services**, 2003.
- INTERNATIONAL GREEN ROOFS ASSOCIATION (INGRA)**. Disponível em: <<http://www.igra-world.com>>. Acesso em: outubro de 2011.
- IUPWARE. **InterUniversitare Programme in Water Resources Engineering**. Disponível em: <http://www.biw.kuleuven.be/lbh/lsw/iupware/downloads/elearning/software/greenroof.pdf>. Acesso em: 04.jul.2013.
- JOHNSON, N. F.; NEWTON, G. J. Estimation of the dose of radon progeny to the peripheral lung and the effect of exposure to radon progeny on the alveolar macrophage. **Radiat. Res.** v.139, p.163-169, 1994.
- JOHNSTON, J.; NEWTON, G. J. Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. **London Ecology Unit**. London. 1996.
- KAPLAN, R. The role of nature in the context of the workplace. **Landscape and Urban Planning**, v.26, p.193-201, 1993.
- KASPER, H. **O processo de pensamento sistêmico: um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto**. 291p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.
- KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M. Roof Gardens in Brazil. In: RIO 3 – WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT, Rio de Janeiro, 2003.
- LESIUK, S. **Biotope II: Plant-building interaction**. From the World Wide Web, Disponível em: <http://www.rainforestinfo.org.au/good_wood/biotetll.htm>. Acesso em: 30 de setembro de 2011.
- MATZARAKIS, A.; ENDLER, C. Adaptation of thermal bioclimate under climate change conditions—the example of physiologically equivalent temperature in Freiburg, Germany. **Int J Biometeorol**, n. 54, p. 479-483, 2010.
- MCPHERSON, E. G. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, n. 24(4), p. 215-223, 1998.

- MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanised 21st century. **Landscape Urban Plan**, n. 77, p. 217–226, 2006.
- MINKE G.; WITTER, G. **Haeuser mit Gruenem Pelz, Ein Handbuch zur Hausbegruenung**. Verlag Dieter Fricke, Frankfurt (partially translated in English). 1982.
- OHNUMA JUNIOR, A. A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 306 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, SP. Dezembro 2008.
- OHNUMA JUNIOR, A. A.; HALASZ, M. R. T.; MENDIONDO, E. M. Monitoramento das águas sub-superficiais em telhados verdes como medida sustentável de combate a poluição hídrica. In: VI ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. Vitória/ES, Brasil. 2011.
- ÖHRSTRÖM, E. Psycho-social effects of traffic noise exposure. **Journal of Sound and Vibration**, n. 151, p.513 e 517. 1991.
- OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 86f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- OMETO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.
- ONMURA, S.; MATSUMOTO, M.; HOKOI, S. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. **Energy and Buildings**, n. 33, p. 653-666, 2001.
- PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v.43, p. 1712–1722, 2011.
- PASSCHIER-VERMEER, W.; PASSCHIER, W. F. Noise exposure and public health. **Environmental Health Perspectives**, n. 108 (1), p. 123-131, 2000.
- PECK, S; KUHN, M. **Design guidelines for green roofs, 2006**. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>>. Acesso em: setembro 2011.
- PROWELL, E. S. **An Analysis of Stormwater Retention and Detention of Modular Green Roof Blocks**. Thesis submitted to the graduate Faculty of the University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree Master of Science Athens, Georgia, 2006.
- ROBINSON, D. **Mountain Equipment Coop, Social and Environmental Coordinator**. Pers comm, 2005.
- ROSSETI, K. A. C. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá, MT**. 145f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.
- ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; FRANCO, F. M.; NOGUEIRA, J. S. **Análise da interferência da cobertura verde na temperatura e umidade relativa do ar do entorno da edificação - estudo de caso em protótipo no município de Cuiabá, MT**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 9, p. 1959-1970, 2013.
- SCOTT, K.; MCPHERSON E. G.; SIMPSON, J. R. Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. **Journal of Arhoriculture**, n. 24(4), p. 224-234, 1998.
- SIMPSON J. R.; MCPHERSON, E. G. Tree planting to optimize energy and CO₂ benefits. In: C. KOLLIN, EDITOR, INVESTING IN NATURAL CAPITAL, PROCEEDINGS OF THE 2001 NATIONAL URBAN FOREST CONFERENCE, Washington DC. 2001.
- TAN, P.; SIA, A. A pilot green roof research project in Singapore. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto. 2005.
- TCPO. **Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. São Paulo, Pini, 13^a Ed. 2010.
- VALE, B.; VALE, R. Green Architecture. London: **Thames & Hydson**, p. 148, 1991.
- VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. **Journal of Sound and Vibration**, n. 317, p. 781-799, 2008.
- VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. Reducing the acoustical façade from road traffic with green roofs. **Building and Environment**, n. 44, p. 1081-1087, 2009.
- WANDELLI, E. V.; MARQUES FILHO, A. O. **Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais**. Acta Amazônica, v. 29, n. 1, p. 57-78, 1999.

**Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 4,
n. 1, p. 55-77, jan./jun. 2013**

WONG, N.H.; CHEN, Y.; ONG, C.L.; SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, v. 38, p.261-270, 2003.
ZUBEVICH, K. **The Search for the Sacred in the Concrete Jungle**. (via link on the Ecopsychology web site, Jul. 2004). Prepared by Ryerson University, 2004.