

TEMPERATURA E ESCOAMENTO EM TELHADOS VERDES INTENSIVOS UMA REVISÃO

Thamille Casagrande (thamille.casagrande@gmail.com); Lee Ha Guaen Neto (oguaen@gmail.com); Rachel Miller (mmiller.rach@gmail.com); Ana Clara Campos Fonseca (anafonseca98@gmail.com); Mariana Grassi Noya (mariana.noya@pucpr.br); Sérgio Fernando Tavares (sergioftavares@gmail.com)

Universidade Federal do Paraná - Curso de Arquitetura e Urbanismo (UFPR - CAU)- Brazil
Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (UFPR - PPGECC) - Brazil
Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola de Ciências da Vida, Curso de Agronomia (PUC/PR - ECV) - Brazil

Palavras chave: telhados verdes, telhados verdes intensivos, controle de temperatura, escoamento superficial, retenção de águas pluviais.

O uso de telhados verdes vem sendo cada vez mais explorado por pesquisadores, ficando comprovado os diversos benefícios que os mesmos podem desempenhar para aliviar os problemas ambientais urbanos associados principalmente a ilhas de calor e escoamento de águas pluviais. A maioria dos estudos concentra-se no uso de telhados verdes extensivos, pois estes apresentam menor carga exercida sobre a cobertura e menores custos de instalação e manutenção. Sendo assim, pesquisas aprofundadas no uso de telhados verdes intensivos foram menos exploradas, não sendo disseminados os benefícios da implantação desta técnica. Apesar de existirem maiores dificuldades para a implantação de telhados verdes intensivos, a literatura demonstra maiores benefícios na utilização deste método, principalmente relacionados a absorção de águas pluviais e controle de temperatura. Esta revisão sistemática de literatura busca levantar os estudos existentes sobre o assunto com a intenção de demonstrar os benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperatura e retenção de águas pluviais. Pesquisas nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódicos da Capes, Google Acadêmico e SciELO resultaram em um total de 15 estudos selecionados, sendo estes apenas em inglês, pois não foram encontrados estudos referentes ao assunto em português. A partir destes, verifica-se a minoria de estudos voltados para o uso de telhados verde intensivos, sendo que os poucos encontrados demonstram um melhor desempenho no uso desta técnica, deixando clara a necessidade de novas pesquisas sobre o assunto, aumentando assim a gama de evidências e validade das pesquisas existentes.

1. INTRODUÇÃO

O uso de telhados verdes vem sendo explorado tanto em estudos através da comunidade acadêmica, quanto na utilização da técnica em edifícios já existentes ou novos, pois oferecem uma gama de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Benefícios comprovados incluem a redução de diversos problemas ambientais como: ilhas de calor, poluição do ar, consumo de energia do edifício, escoamento de águas pluviais, bem como a extensão do tempo de vida dos materiais que compõe o telhado (Francis; Jensen, 2017).

Apesar de existir um corpo significativo de pesquisas sobre o tópico, grande parte dos estudos abordam o uso de telhados verdes extensivos, pois estes apresentam menores dificuldades de implantação por possuírem custo, peso e manutenção mais baixa. Desta forma, menos interesse tem sido demonstrado pelo estudo de telhados verdes intensivos,

mas Jim e Tsang (2011) afirmam que esta técnica merece mais atenção devido aos benefícios superiores que podem apresentar.

Diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais e redução da temperatura superficial. Mentis et. al (2006) afirmam que a redução do escoamento superficial anual é fortemente determinada pela profundidade da camada do substrato, sendo que esta é maior em telhados intensivos. Jim e Tsang (2011) avaliaram o desempenho de um telhado verde intensivo em termos de redução de temperatura superficial através de um experimento realizado no terraço de um edifício em Hong Kong e afirmaram que telhados verdes intensivos também possuem excelente performance no controle de temperatura superficial.

Desta forma, esta revisão sistemática busca encontrar referências que explorem o uso de telhados verdes intensivos, de modo a avaliar se a eficácia deste sistema é superior aos demais existentes em termos de controle de temperatura e retenção do escoamento de águas pluviais.

2. OBJETIVO

Esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo a exploração de estudos que analisem o uso de telhados verdes intensivos, buscando encontrar evidências que comprovem o desempenho superior deste sistema em relação aos telhados verdes extensivos, sendo analisadas as variáveis de temperatura e escoamento superficial.

3. METODOLOGIA

Este estudo de revisão sistemática de literatura seguiu as recomendações *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* - PRISMA (Liberati et al., 2009). Este método apresenta um fluxograma que permite identificar como a pesquisa foi realizada definindo o número de estudos encontrados e selecionados além da disponibilização de um *checklist* para guiar a pesquisa conforme critérios definidos pelo mesmo. Estes critérios foram utilizados para a condução desta pesquisa e serão abordados a seguir.

3.1. Critérios de elegibilidade

Para a seleção de trabalhos, buscou-se pesquisas que tratassem do desempenho de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperatura e capacidade de retenção de águas pluviais. Artigos que tratassem destas condicionantes, mas que não se enquadravam como telhados verdes intensivos de acordo com os critérios estabelecidos foram descartados.

Para esta revisão, discute-se o seguinte problema: telhados verdes intensivos podem desempenhar melhores resultados em relação a telhados verdes extensivos em termos de controle de temperatura e retenção de águas pluviais?

Para responder à pergunta de pesquisa buscou-se selecionar a maior variedade e quantidade possível de estudos. Para seleção, os materiais foram divididos entre os dois tópicos que abrangem o assunto: controle de tempera e retenção de águas pluviais.

3.2. Fontes de informação e busca

Para definição de palavras-chave e base de dados para pesquisa, foi utilizado um método de extração de dados conforme detalhado pelo professor Aldo Fontes-Pereira (Fontes-Pereira, 2017). Foi realizada uma busca com a união de palavras-chave em inglês e português, buscando determinar o panorama do assunto tanto no exterior, quanto no Brasil. A base de dados utilizada para a extração de palavras-chave foi o Google Acadêmico. Para a pesquisa de dados em inglês, foi realizada a busca com as seguintes palavras: *"intensive*

green roof" AND *"rainwater runoff*" OR *"temperature*", utilizando o uso de aspas para fechamento da palavra-chave e ainda o uso das conjunções *and* e *or* para que a busca encontrasse um ou outro assunto relacionado a telhados verdes intensivos. Foram escolhidos os cinco artigos mais relevantes sobre o tema e extraídas destes as palavras-chave, definindo quantas vezes cada palavra se repetiu e em qual base de dados foram encontradas. A partir desta busca, as palavras com maior número de aparições foram: *green roof*; *intensive green roof*; *rainwater runoff* e *thermal insulation*. A base de dados com maior aparição foi o *Science Direct*. Desta forma, foram definidos os seguintes termos para busca em inglês: *"intensive green roof*" AND *"rainwater runoff*" para encontrar artigos que tratassem de telhados verdes intensivos e o seu desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais, e *"intensive green roof*" AND *"thermal insulation*" para encontrar artigos que tratem do controle de temperatura. Da mesma forma, a busca foi realizada também em português, utilizando as palavras "telhados verdes intensivos" E "águas pluviais" OU "temperatura". Foram encontrados 51 resultados, porém, todos os estudos tratavam de telhados verdes extensivos. Desta forma, foi definida que a busca para artigos em português contemplaria apenas as palavras "telhados verdes intensivos".

As bases de dados para as buscas em inglês foram o *Science Direct* e o *Portal de Periódicos da Capes*. Já para a pesquisa em português, foram utilizadas as bases de dados *SciELO* e *Portal de Periódicos da Capes*. As buscas foram realizadas entre os meses Junho e Julho de 2018, sendo a última pesquisa realizada no dia 31 de Julho de 2018.

As buscas em português não obtiveram êxito, não sendo encontrado nenhum estudo no Brasil nas bases de dados pesquisadas. Quando utilizada a palavra-chave "telhados verdes intensivos" no *Google Acadêmico*, foram encontrados 66 resultados, porém todos tratavam de telhados verdes extensivos. Já no *SciELO*, com esta mesma palavra-chave não houve nenhum resultado, sendo então utilizadas as palavras-chave "telhado verde" e "cobertura verde", resultando em 26 estudos encontrados, porém nenhum tratava de telhados verdes intensivos. No *Portal de Periódico da Capes* também não houve resultado com a utilização da palavra-chave "telhados verdes intensivos", sendo assim também utilizadas as palavras "telhado verde" e "cobertura verde", totalizando em 55 resultados, sendo que todos tratavam de telhados verdes extensivos. Sendo assim, foi realizada uma busca nos periódicos publicados na *Revista Ambiente Construído (ANTAC)* de 1997 a 2018. Verificou-se apenas quatro artigos sobre telhados verdes, sendo todos sobre telhados verdes extensivos. Além desta busca, também foram feitas buscas nos artigos publicados no *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)* de 2000 a 2016, onde foram encontrados 19 artigos sobre telhados verdes, sendo que dez eram sobre telhados verdes extensivos e nove sem especificidade da técnica, sendo tratada de forma geral. Desta forma, nesta revisão sistemática de literatura serão utilizados apenas estudos em inglês.

3.3. Seleção de estudos

Foi realizada uma seleção prévia dos estudos a partir da leitura do título e resumo para cada plataforma de busca. A partir desta pré-seleção foram excluídos trabalhos repetidos ou ainda os que não foram possíveis de serem obtidos pelo endereço eletrônico de divulgação. Após leitura completa dos estudos pré-selecionados, foram excluídos os trabalhos que não atenderam aos critérios de elegibilidade. Optou-se apenas pela inclusão de artigos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Materiais selecionados

Obteve-se um total de 64 estudos selecionados a partir da busca descrita na metodologia. Além desta seleção, foram adicionados mais três artigos encontrados na literatura cinzenta, encontrados por buscas no *Google Acadêmico* e *Research Gate*. Destes 67, 40 artigos eram

repetidos e foram então excluídos, resultando em 27 artigos a serem analisados. Em um terceiro momento foi feita a leitura em partes destes artigos restantes e foram excluídos então os que não atendiam aos critérios de elegibilidade, restando assim 17 artigos. Após leitura completa foram excluídos mais três artigos que não contemplavam as informações necessárias para composição desta revisão, resultando então em 14 artigos que compõe esta revisão sistemática de literatura. O fluxograma que demonstra esta seleção está ilustrado na figura 1.

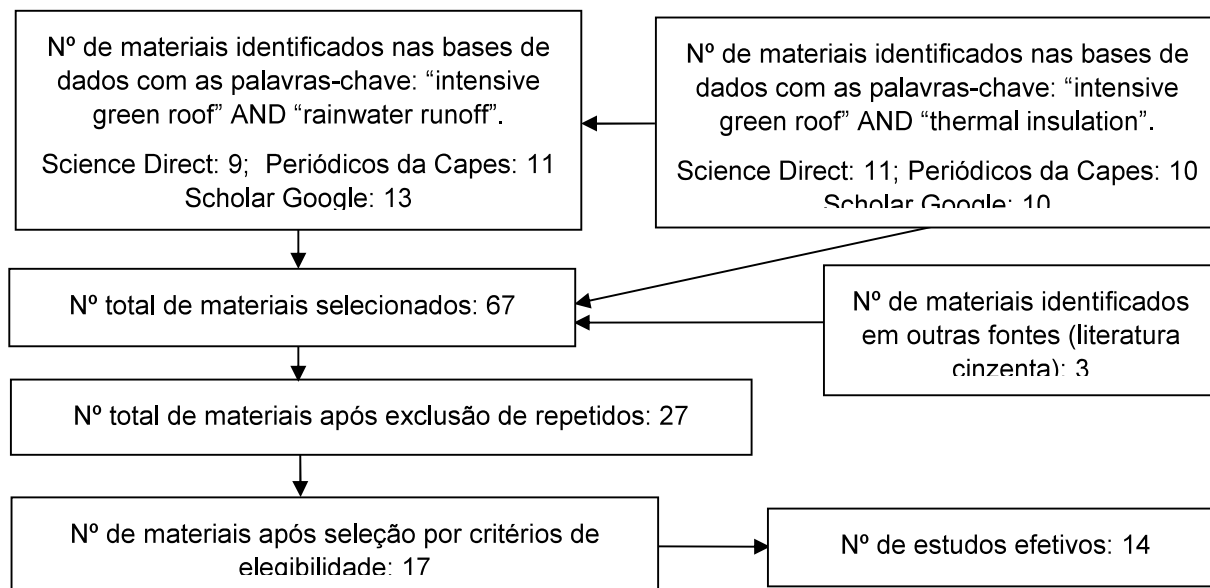


Figura 54. Fluxograma de seleção de materiais (Fonte: os autores, 2018).

Para análise dos resultados, os artigos selecionados foram divididos de acordo com a variável analisada em cada um. Esta divisão pode ser verificada conforme tabela 1, que demonstra os artigos selecionados por assunto.

Tabela 1. Estudos identificados com análise referente ao comportamento térmico e hidrológico de telhados verdes intensivos (cont.)

Título	Referência
Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation	Lee e Jim (2018)
Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study	Morakinyo et. al (2017)
Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems	Scharf e Zluwa (2017)
Green roofs energy performance in Mediterranean climate	Silva et. al (2016)
Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong	Tam et. al (2016)
Simulation of the Thermal Behaviour of a Building Retrofitted with a Green Roof: Optimization of Energy Efficiency with Reference to Italian Climatic Zones	Gargari et. al (2016)
An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof	Darkwa et. al (2013)
Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof	Jim e Tsang (2011)
Estudos identificados com análise referente ao comportamento hidrológico de telhados verdes intensivos	
Modelling green roof stormwater response for different soil depths	Castiglia et. al

	(2016)
Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate	Beecham e Razzaghmanesh (2015)
The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate	Razzaghmanesh e Beecham (2014)
Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof	Speak et. al (2013)
Green Roof Storm Water Retention-Monitoring Results	Uhl e Schiedt (2008)
Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?	Mentes et. al (2006)

4.2. Comportamento hidrológico de telhados verdes intensivos

De modo geral, o comportamento hidrológico de telhados verdes diz respeito a quantidade e qualidade das águas escoadas, porém, esta revisão abordará apenas estudos que contemplem o comportamento de telhados verdes intensivos em relação a quantidade de água escoada, abordando estudos que contemplem o percentual de retenção de escoamento, sendo este um dos benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes. Isso se deve ao fato da capacidade de armazenamento de água pelo sistema. Parte da água é armazenada no solo e devolvida para a atmosfera por evaporação e transpiração, sendo que a evaporação ocorre através do solo e a transpiração através das plantas. Este processo é chamado de evapotranspiração.

A seleção para este tópico é dividida entre estudos que contemplam a análise da retenção do escoamento de águas pluviais de telhados verdes intensivos por experimento, simulação computadorizada ou revisão, conforme tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos estudos encontrados separados por método de avaliação (Fonte: os autores, 2018).

Estudos realizados por meio de experimento para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Nº eventos	Período aval.	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Beecham e Razzagh manesh (2015)	5	1,5 anos	TV1: cv, i=1°, ext. (h sub. = 10 cm)	79,62%	Adelaide Austrália
			TV2: cv, i=25°, ext. (h sub. = 10 cm)	78,13%	
			TV3: cv, i=1°, int. (h sub. = 30 cm)	89,66%	
			TV4: cv, i=25°, int. (h sub. = 30 cm)	82,96%	
			TV5: sv, i=1°, ext. (h sub. = 10 cm)	63,74%	
			TV6: sv, i=25°, ext. (h sub. = 10 cm)	65,12%	
			TV7: sv, i=1°, int. (h sub. = 30cm)	67,66%	
			TV8: sv, i=25°, int. (h sub. = 30cm)	67,55%	
Razzagh manesh e Beecham (2014)	226	2 anos	TV1: extensivo com substrato tipo A	81,66%	Adelaide Austrália
			TV2: extensivo com substrato tipo B	66,38%	
			TV3: intensivo com substrato tipo A	92,19%	
			TV4: intensivo com substrato tipo B	85,05%	
Speak et. al (2013)	254	1 ano	TV: intensivo (h substrato = 17 cm)	65,70%	Manchester Inglaterra
			Laje de concreto impermeabilizada	33,60%	
Uhl e Schiedt (2008)	---	2 anos	TV1: i=0%, ext., sub. M (h sub.=5cm)	67,00%	Münster, Alemanha
			TV2: i=0%, ext., sub. M (h sub.=8cm)	67,00%	
			TV3: i=0%, ext., sub. E (h sub.=10cm)	69,00%	
			TV4: i=0%, ext., sub. E (h sub.=15cm)	73,00%	
			TV5: i=0%, int., sub. I (h sub.=25 cm)	80,00%	
			TV6: i=0%, int., sub. I (h sub.=35 cm)	81,00%	
Estudo realizado por meio de revisão para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Nº estudos selecionados	Nº dados coletados	Distinção do telhado	Média h. sub.	Perc. retenção
Mentes et. al (2006)	18	628	Telhado verde intensivo	21 cm	75%
			Telhado verde extensivo	10 cm	50%
			Telhado coberto com cascalho	5 cm	25%
			Telhado sem cobertura vegetal	---	19%
Estudo realizado por meio simulação computadorizada para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Cenários (mm/aaaa)	Nº de eventos	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Castiglia et. al (2016)	01) 06/2008 a 08/2008	60	TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	26%	Auckland, Nova Zelândia
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10cm)	27%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20cm)	29%	

Tabela 2. Identificação dos estudos encontrados separados por método de avaliação (cont.)

Estudo realizado por meio simulação computadorizada para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Cenários (mm/aaaa)	Nº de eventos	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Castiglia et. al (2016)	01)06/2008 a 08/2008	60	TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	33%	Auckland, Nova Zelândia
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	40%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	54%	
			TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	26%	
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10 cm)	27%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20 cm)	30%	
	02) 05/2010 a 07/2010	47	TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	35%	
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	44%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	62%	
			TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	32%	
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10 cm)	34%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20 cm)	37%	
	03) 07/2012 a 09/2012	67	TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	41%	
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	49%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	65%	

Obs.: TV = telhado verde; aval. = avaliação; perc. = percentual; localiz. = localização; cv = com vegetação; sv = sem vegetação; ext. = extensivo; int.= intensivo; h sub. = altura do substrato; sub. M/I/E = substrato tipo M/I/E.

A partir da revisão de artigos, nota-se a dificuldade de comparação entre os estudos, pois diversos são os fatores que influenciam no desempenho hidrológico de telhados verdes. Dentre os fatores externos, está o clima, a estação, o número de eventos e a intensidade das precipitações. Além disso, os fatores internos ao sistema também influenciam, como o tipo de substrato escolhido, a espécie da vegetação e inclinação do telhado.

É possível notar uma melhora no percentual de retenção de águas pluviais de telhados verdes intensivos em todos os dados coletados.

Beecham e Razzaghmanesh (2015) observam que os telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho que extensivos, além de que os que possuíam vegetação obtiveram um desempenho melhor do que os que não possuíam.

Em um segundo experimento, Razzaghmanesh e Beecham (2014), também avaliam a diferença entre telhados verdes extensivos e intensivos, utilizando dois tipos diferentes de substratos, sendo o tipo A composto de tijolo triturado, escória, fibra de coco e compostos orgânicos compostados, enquanto o tipo B era composto de escória, casca de pinheiro compostada e flocos de hydrocell. É possível observar melhor desempenho nos telhados compostos pelo substrato do tipo A, sendo o intensivo o que possui maior retenção de águas pluviais. De acordo com os autores, esta diferença não é tão significativa, visto que os dois sistemas obtiveram ótimos resultados.

Speak et. al (2013) comparam o desempenho de um telhado verde intensivo de 43 anos de idade com uma laje de concreto e verificam também grande aumento no percentual de retenção de águas pluviais. A diferença média entre o telhado verde e a laje é de 65,7% para 33,6%, respectivamente. Os autores afirmam ainda que caso as coberturas do centro

de Manchester fossem substituídas por telhados verdes intensivos haveria um aumento de 2,3% na retenção anual do escoamento de águas pluviais.

Já Uhl e Schiedt (2008) realizam um experimento com a construção de 18 protótipos, havendo variação no tipo e altura do substrato, inclinação do telhado e área. Foi feita uma combinação de 3 tipos diferentes de substrato, sendo classificados em M, I e E. O tipo “M” é uma mistura de lava, pedra-pomes e ardósia expandida. O tipo “I” consiste em ardósia expandida, lava, pedra pomes, argila expandida, húmus de casca e composto de jardim. Já o tipo “E” possui a mesma composição que o “I”, porém em diferentes proporções. Entre os protótipos foi utilizada uma variação na altura do substrato entre 5 e 35 cm, além de diferentes inclinações, sendo estas 0, 1,7 e 26,8%. Para esta revisão foram coletados apenas os dados que apresentaram maior percentual de retenção do escoamento superficial, sendo estes os protótipos sem inclinação. É possível observar grande diferença no percentual de retenção entre a menor (5 cm) e a maior (35 cm) espessura de substrato, sendo 67 e 81%, respectivamente. De acordo com os autores, o percentual de escoamento superficial é fortemente determinado pela altura do substrato.

Além dos artigos realizados através de experimentos, também foram encontrados um artigo de revisão de literatura e um de simulação computadorizada.

Na revisão de literatura foi abordada a questão da diferença do percentual de retenção do escoamento em diferentes tipos de telhados. Montes et. al (2006) realizaram uma seleção de 18 estudos e a partir destes foi feita a divisão de 4 classes para avaliação, sendo estas: telhado verde intensivo, telhado verde extensivo, telhado coberto com cascalho e telhado sem cobertura vegetal. Pela revisão já apontada até aqui, sabe-se que existe grande diferença na retenção quando implementado um telhado verde, mas a informação de grande relevância é a diferença entre os extensivos e intensivos. A partir da revisão obteve-se uma média do percentual de retenção do escoamento de 75% para telhados verdes intensivos e 50% para telhados verdes extensivos. Neste estudo, os autores enfatizam a importância da utilização de ferramentas que ajudem na redução do escoamento de águas pluviais, e concluem que o telhado verde é uma destas. Além disso, a grandeza da retenção depende da estrutura do telhado verde, das condições climáticas e quantidade de precipitação.

Já o estudo realizado por meio de simulação computadorizada utiliza do mesmo substrato e sem inclinação, variando apenas na altura do mesmo. Castiglia et. al (2016) realizam uma simulação através do software HYDRUS 1-D comparando o percentual de retenção do escoamento para 6 diferentes alturas de substratos, sendo 5, 10, 20, 40, 80 e 160 cm. É possível notar grande diferença entre a menor e maior altura variando de 26% a 65%, respectivamente.

Embora os resultados apresentados apontam para um melhor desempenho por parte dos telhados verdes intensivos, este tema ainda é muito pouco estudado, demonstrando a necessidade de aprofundamento no estudo.

4.3. Comportamento térmico de telhados verdes intensivos

Entre os benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes está a melhora no desempenho térmico dos edifícios e sua ambiência. De acordo com Lee e Jim (2018), inúmeras pesquisas se concentraram no uso de telhados verdes extensivos, com atenção inadequada ao uso de telhados verdes intensivos. Ainda existem poucos estudos focados no uso de telhados verdes intensivos. A partir da revisão de literatura, foi possível levantar oito artigos referentes ao tema, conforme pontuados na tabela 2. Para demonstração dos resultados de temperatura, os artigos serão demonstrados separadamente, por conta da diferença de coleta de dados de um para outro. Para avaliação de temperatura, cada estudo contempla um método diferente, sendo difícil a comparação através de tabelas. Sendo

assim, serão separados apenas os que tratam de experimentos dos que tratam de simulação computadorizada.

4.3.1. Estudos identificados realizados por meio de experimento para avaliação do comportamento térmico de telhados verdes intensivos

- I. Artigo 01 - *Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation* (Lee; Jim, 2018)

Lee e Jim (2018) realizam um experimento na cidade de Hong Kong, China, com a intenção de avaliar a diferença de temperatura de um telhado verde intensivo (altura do substrato = um metro) e uma laje sem cobertura vegetal. Para tal avaliação foram escolhidos três eventos distintos, sendo um dia de sol, um dia nublado e um dia de chuva. De acordo com os autores, no telhado verde intensivo houve diminuição da temperatura mesmo no dia ensolarado, o que gerou uma redução na temperatura do ambiente interno. A temperatura constante no subsolo sugere que um substrato de 50 cm já é suficiente para proporcionar um isolamento térmico eficaz (Lee; Jim, 2018).

- II. Artigo 02 - *Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems* (Scharf; Zluwa, 2017)

O estudo traz uma descrição detalhada de sete tipos diferentes de sistemas de telhados verdes (diferenciando em profundidade, materiais e camadas) e suas performances de isolamento por um período de 15 meses. Cinco destes são considerados telhados verdes extensivos, com substrato de 12 cm de profundidade, enquanto os dois restantes são considerados telhados verdes intensivos, com 20 e 25 cm de substrato. Para medição, foi instalado um sensor para medir o fluxo de calor e temperatura sobre a camada de proteção e um sensor para medir a temperatura superficial e umidade, instalado diretamente sobre a superfície do substrato. Os resultados foram analisados separadamente para verão e inverno. Os telhados verdes intensivos apresentaram o menor impacto na temperatura, também apresentando estabilidade no fluxo de calor. Em relação aos valores de transmitância térmica, estes apresentaram o melhor desempenho com medida de 0,299 W/m²K em comparação a um telhado verde extensivo, com medida de 0,944 W/m²K.

Dentre as conclusões apresentadas pelos autores está a percepção na melhora do isolamento térmico de edifícios com a utilização de telhados verdes, sendo que espessura do substrato, materiais, estações e as camadas desempenham um papel fundamental no desempenho do sistema.

- III. Artigo 03 - *Green roofs energy performance in Mediterranean climate* (Silva; Gomes; Silva, 2016)

Os experimentos de campo foram realizados em um edifício localizado no centro de Lisboa, Portugal. O monitoramento do sistema é realizado em um ambiente interno ao edifício, onde o desempenho térmico foi avaliado com equipamentos afim de medir a temperatura externa e interna e fluxos de calor. A comparação foi feita entre um telhado verde extensivo (h substrato=10cm), semi-intensivo (h substrato=25cm) e intensivo (h substrato=70cm). Os eventos de medição aconteceram no inverno e verão. O experimento mostra grande diferença entre o desempenho de telhados verdes extensivos comparado aos semi-intensivos e intensivos. Os telhados verdes extensivos exigem duas vezes mais energia anual do que as outras duas soluções. A diferença entre semi-intensivo e intensivo não é tão grande para períodos de aquecimento, mas mostra grande diferença para períodos de resfriamento, sendo o telhado verde intensivo mais eficiente neste sentido.

- IV. Artigo 04 - *Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong* (Tam; Wang; Le, 2016)

O artigo contempla a avaliação do desempenho térmico de telhados verdes em três edifícios na cidade de Hong Kong. Cada estudo de caso contempla diferentes tipos de substrato e espécies de planta. O estudo de caso I é caracterizado como telhado verde intensivo e possui 30 cm de substrato, já os estudos de caso II e III são caracterizados como telhados verdes extensivos e possuem diferentes alturas de substrato, sendo o estudo de caso II dividido em zonas A, B e C, com 15, 10 e 5 cm de substrato respectivamente e o estudo de caso III com 5 cm de substrato. Os três estudos de caso provaram que sistemas de telhado verde podem melhorar o isolamento térmico em até 3,4 ° C. Os resultados revelaram que a profundidade do solo e os tipos de plantas são particularmente significativos para o desempenho do isolamento térmico. O solo mais profundo pode ter uma maior eficiência na retenção de umidade e levar a uma maior eficiência de evaporação das plantas, o que leva a um maior desempenho de isolamento térmico (Tam; Wang; Le, 2016).

- V. Artigo 05 - *Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof* (Jim; Tsang, 2011)

Este estudo avalia a performance térmica de um telhado verde intensivo na cidade de Hong Kong durante as quatro estações. O telhado verde em questão possui substrato com um metro de profundidade. As temperaturas coletadas foram medidas a 15 e a 160 cm acima do solo e a 10 e 90 cm abaixo do solo. De acordo com os autores, a camada de substrato do solo do telhado verde intensivo pode ser considerada um grande dissipador de calor para reduzir a flutuação da temperatura. No verão, houve redução de 4,2°C na temperatura do solo, resultando em uma boa diferença de temperatura para melhor controle da temperatura interna.

- VI. Artigo 06 - *An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof* (Darkwa; Darkwa; Suba; Kokogiannakis, 2013)

O estudo contempla o monitoramento de um telhado verde intensivo na cidade de Ningbo, China. A amostra possui 40 cm de substrato e para análise do comportamento térmico do sistema são locados dois termopares no telhado verde e um no ambiente interno, bem como sensores para medição do fluxo de calor superficial e do solo. Durante o verão, a temperatura externa e interna medidas no substrato foram de 32°C e 28,7°C respectivamente, e ainda diminuindo a temperatura interna do ambiente para 26°C. Durante o inverno, a diferença de temperatura é ainda maior, sendo que quando a temperatura externa era de 5°C, a temperatura interna do solo foi de 20,5°C, mantendo a temperatura interna do ambiente em 21°C. É possível observar maior estabilidade na variação de temperatura no solo do telhado verde, principalmente durante verão, o que permite o controle de temperatura interno ao ambiente, evitando o uso de aparelhos de ar condicionado para tal fim.

4.3.2. Estudos identificados realizados por meio de simulação computadorizada para avaliação do comportamento térmico de telhados verdes intensivos

- I. Artigo 01 - *Simulation of the thermal behaviour of a building retrofitted with a green roof: optimization of energy efficiency with reference to italian climatic zones* (Gargari; Bibbiani; Fantozzi; Campiotti, 2016)

Neste estudo é investigada a influência da troca de um telhado inclinado composto por telha de barro por um telhado verde. O estudo de caso é um edifício de habitação social localizado em Pisa, na Itália. Para tal comparação realiza-se uma simulação através do software *EnergyPlus* comparando o telhado existente com diferentes tipos de telhados verdes, sendo estes extensivos e intensivos. Há uma diferença de aproximadamente 2°C entre o telhado inclinado e o telhado verde intensivo. De acordo com os autores, devido aos requisitos de pesquisa específicos, as simulações não consideraram grandes ganhos

internos. Os autores acreditam que para descrever adequadamente o desempenho de um telhado verde sob condições operacionais reais, essas condições devem ser medidas.

- II. Artigo 02 - Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study (Morakinyo; Dahanayake; Ng; Chow, 2017)

Este trabalho apresenta um estudo paramétrico sobre o efeito de quatro tipos de coberturas verdes com temperatura exterior/interior para quatro climas diferentes utilizando uma abordagem de co-simulação com *ENVI-met* e *EnergyPlus*. Para simulação foram utilizados os dados de quatro cidades com climas diferentes, sendo elas: Cairo, Hong Kong, Tóquio e Paris. Foi feita a comparação entre um telhado verde intensivo (h substrato = 70 cm) e um telhado verde extensivo (h substrato = 30cm). Os telhados verdes intensivos foram os que apresentaram melhores resultados de diferença de temperatura superficial, variando em 14°C no Cairo, 10°C em Hong Kong, 8,5°C em Tóquio e 7°C em Paris. Os resultados demonstram que a umidade relativa e a intensidade solar são parâmetros-chave que determinam o potencial de resfriamento por evaporação de telhados verdes. (Morakinyo; Dahanayake; Ng; Chow, 2017).

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta revisão sistemática de literatura nos mostra a insuficiência de resultados para o estudo de telhados verdes intensivos, pois poucos artigos que tratavam diretamente do assunto foram encontrados. A bibliografia levantada apresenta resultados positivos em relação a utilização do uso de telhados verdes intensivos, mas a escassez de estudos torna difícil uma conclusão coerente sobre a viabilidade no uso desta técnica. Por conta disso, é notável a necessidade de novos estudos que contemplem o tema para que existam maiores evidências para chegar a uma conclusão efetiva sobre o assunto. Além disso, não foram encontrados estudos no Brasil, o que torna necessária a introdução da pesquisa sobre o assunto no âmbito nacional, tratando de uma análise específica ao nosso clima.

A grande variedade de métodos utilizados dificulta a comparação dos dados levantados, embora seja possível notar desempenho superior por conta dos telhados verdes intensivos em relação ao controle de retenção do escoamento superficial e controle de temperatura em todos os estudos apontados.

Outro ponto importante a ser destacado é a incompatibilidade na classificação de telhados verdes extensivos e intensivos quanto a altura do substrato, pois este valor aparece de forma diferenciada em cada estudo, sendo que alguns autores consideram que substratos maiores que 15 cm podem ser considerados como intensivos, enquanto outros acreditam que estes devem ser maiores ou iguais a 30 cm.

Uma variável de grande influência no desempenho hidrológico e térmico de telhados verdes é o clima, o que nos mostra mais uma vez a necessidade de estudos que avaliem telhados verdes intensivos no Brasil, avaliando o comportamento destes no panorama nacional.

Sendo assim, sugere-se que futuras pesquisas desenvolvam novos experimentos que avaliem o comportamento térmico e hidrológico de telhados verdes intensivos, contribuindo assim com novos dados para que a confiabilidade da pesquisa na área seja aumentada.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beecham, S.; Razzaghmanesh, M. (2015). *Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate*. In: *Water Research*, v. 70, p. 370–384.
- Castiglia Feitosa, R.; Wilkinson, S. (2016). *Modelling green roof stormwater response for different soil depths*. In: *Landscape and Urban Planning*, v. 153, p. 170–179.

- Darkwa, J.; Darkwa, J.; Suba, G.; Kokogiannakis, G. (2013). *An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof*. In: *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 7, p. 65-84.
- Francis, L. F. M.; Jensen, M. B. (2017). *Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services*. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 28, p. 167–176.
- Fontes-Pereira, A. (2017). *Revisão sistemática de literatura: como escrever um artigo científico em 72 horas*. Rio de Janeiro.
- Gargari, C.; Bibbiani, C.; Fantozzi, F.; Campiotti, C. A. (2016). *Simulation of the Thermal Behaviour of a Building Retrofitted with a Green Roof: Optimization of Energy Efficiency with Reference to Italian Climatic Zones*. In: *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 8, p. 628–636.
- Jim, C. Y.; Tsang, S. W. (2011). *Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof*. *Building and Environment*, v. 46, p. 1263–1274.
- Lee, L. S. H.; Jim, C. Y. (2018). *Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation*. In: *Ecological Engineering*, v. 119, p. 8–18.
- Liberati, A.; Altman, D. G.; Tetzlaff, J.; Mulrow, C.; Gøtzsche, P. C.; Ioannidis, J. P. A.; Moher, D. (2009). *The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration*. In: *PLoS Medicine*, v. 6(7), e1000100.
- Mentens, J.; Raes, D.; Hermy, M. (2006). *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?* In: *Landscape and Urban Planning*, v. 77(3), p. 217–226.
- Morakinyo, T. E.; Dahanayake, K. W. D. K. C.; Ng, E.; Chow, C. L. (2017). *Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study*. In: *Energy and Buildings*, v. 145, p. 226–237.
- Razzaghmanesh, M.; Beecham, S. (2014). *The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate*. In: *Science of The Total Environment*, v. 499, p. 284–296.
- Scharf, B.; Zluwa, I. (2017). *Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems*. In: *Energy and Buildings*, v. 151, p. 564–573.
- Silva, C. M.; Gomes, M. G.; Silva, M. (2016). *Green roofs energy performance in Mediterranean climate*. In: *Energy and Buildings*, v. 116, p. 318–325.
- Speak, A. F.; Rothwell, J. J.; Lindley, S. J.; Smith, C. L. (2013). *Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof*. In: *Science of The Total Environment* v. 461–462, p. 28–38.
- Tam, V. W. Y.; Wang, J.; Le, K. N. (2016). *Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong*. In: *Building and Environment*, v. 110, p. 46–54.
- Uhl, M. (2008). *Green Roof Storm Water Retention-Monitoring Results*. In: *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).