



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOYCE SOARES DA SILVA

**PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS TELHADOS VERDES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Caruaru
2019

JOYCE SOARES DA SILVA

**PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS TELHADOS VERDES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de pesquisa apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração:
Engenharia/Engenharia Civil/Recursos
Hídricos/Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Caruaru
2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S586p Silva, Joyce Soares da.
Principais aplicações dos telhados verdes: uma revisão sistemática. / Joyce Soares da Silva. – 2019.
48 f. il. : 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências.

1. Telhados verdes (Jardinagem). 2. Escoamento. 3. Conforto térmico. 4. Sustentabilidade. 5. Tecnologia ambiental. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich (Orientadora). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-117)

JOYCE SOARES DA SILVA

**PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS TELHADOS VERDES: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de pesquisa apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia/Engenharia
Civil/RECURSOS HÍDRICOS/SANEAMENTO
AMBIENTAL.

Aprovado em: Caruaru, 17 de Julho de 2019.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Marileide Lira de Araújo Tavares
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador I)

Prof^o. Msc. Armando Dias Duarte
Autarquia Educacional do Belo Jardim – AEB/FABEJA (Avaliador II)

*“Eu,
um universo de átomos,
um átomo no universo.”*

Richard Feynman.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter sido meu refugio, quando necessitei de uma luz, e meu templo, quando apenas quis agradecer pelas vitórias em minha vida.

Agradeço à minha família. Minha mãe, Selma, meu pai, Valdir, e meus irmãos, Bruno e Leandro, que foram minha base e pilares para que eu me sustentasse e chegasse até aqui. Sempre me encorajando a não desistir, mas preocupados para que eu descansasse após virar noites em claro estudando, ou apenas por mostrar que eu não sou só uma nota baixa e que eles estariam lá qualquer que fosse a decisão que eu tomasse em minha vida.

Também sou grata aos meus parentes que sempre mostraram orgulho dos meus passos. Minha vó, Lurdes, tia Sueli, tia Vânia e muitos outros. Obrigada pelo carinho e preocupação.

Agradeço também a meu namorado, Wesley, pelo companheirismo, sempre me consolando e apoiando, além de me ajudar quando necessitei, e que sempre comemorou comigo as minhas vitórias.

Agradeço a minha orientadora, Elizabeth, pela paciência e aprendizado. Sempre tratando, não só a mim como a todos os alunos, com zelo e empatia.

Aos meus amigos, agradeço a companhia, as risadas, as broncas, os choros, as tardes de estudos que, muitas vezes, mais conversávamos do que estudávamos, mas que foram essenciais para que eu não desistisse no caminho, sempre um ajudando o outro a chegar até o fim. São eles: Thaís, Flaviane, Deborah, Felipe, Josielly, Luziyelle, Ariely, Weberton, Jadson, Márcio, Eulina, Maria Renata, Carlos Eduardo, Flávio, Ângelo, Renata Andrielle, Êylla, Lucas e Sabrina.

Por fim, agradeço aos professores da UFPE/CAA pelo conhecimento a mim prestado.

RESUMO

Os telhados verdes são um sistema de tecnologia sustentável que tem a função de reduzir os efeitos negativos do crescimento acelerado da urbanização. Entre os seus benefícios principais estão na redução do escoamento superficial ao conter parte da precipitação e o conforto térmico, ao reduzir a variação de temperatura. Nesse estudo foram analisadas as diferentes aplicações do sistema, seus benefícios e desvantagens. A metodologia usada foi a revisão sistemática, onde por meio de plataformas de pesquisa e uso de palavras-chave foi selecionada uma variedade de artigos para o embasamento da pesquisa. Após a seleção, foram aplicadas restrições de modo que o estudo se baseasse em artigos mais qualificados para o tema. Por fim, foi concluído que o uso dos telhados verdes é vantajoso e representa uma melhora na qualidade de vida dos usuários, seja na redução do escoamento superficial ou da temperatura local. Apesar disso, são necessários mais estudos sobre a viabilidade econômica do sistema e sobre a qualidade da água. Por fim, são feitas sugestões para futuras pesquisas que possam contribuir para o conhecimento sobre o tema.

Palavras-chave: Telhado verde. Escoamento superficial. Conforto térmico. Tecnologia sustentável. Qualidade da água.

ABSTRACT

Green roofs are a sustainable technology system that has the function of reducing the negative effects of the accelerated growth of urbanization. Among its main benefits are on runoff reduction, by containing part of the precipitation, and thermal comfort, by reducing temperature variation. In this study the different applications of the system were analyzed, as well as their benefits and disadvantages. The methodology used was the systematic review, where through research platforms and using keywords was selected a variety of articles for the basis of the research. After the selection, restrictions were applied so that the study was based on articles more qualified for the theme. Finally, it was concluded that the use of green roofs is advantageous and represents an improvement in the quality of life of users, whether in the reduction of runoff water or local temperature. Despite this, further studies are needed on the economic viability of the system and on water quality. Finally, suggestions are made for future research that may contribute to knowledge about the topic.

Keywords: Green roof. Runoff water. Thermal comfort. Sustainable technology. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 –	Camadas dos telhados verdes.	12
Figura 02 –	Fluxograma do processo seletivo dos estudos.	25
Figura 03 –	Quantidade de citações dos artigos internacionais.	25
Figura 04 –	Quantidade de citações dos artigos nacionais.	27
Figura 05 –	Número de publicações nacionais por ano.	28
Figura 06 –	Número de publicações internacionais por ano.	28
Figura 07 –	Distribuição das publicações internacionais.	29
Figura 08 –	Quantidade de publicações por revista nacional.	30
Figura 09 –	Quantidade de publicações por revista internacional.	30
Figura 10 –	Uso dos telhados verdes nos artigos nacionais.	33
Figura 11 –	Uso dos telhados verdes nos artigos internacionais.	34
Figura 12 –	Espécies utilizadas nos estudos nacionais.	37
Figura 13 –	Espécies utilizadas nos artigos internacionais.	38
Figura 14 –	Viabilidade econômica em artigos internacionais.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –	Os passos de uma revisão sistemática	15
Tabela 02 –	Questões restritivas sobre o tema.	17
Tabela 03 –	Resultados da avaliação dos artigos nacionais.	18
Tabela 04 –	Características dos artigos nacionais selecionados.	19
Tabela 05 –	Resultados da avaliação dos artigos internacionais.	20
Tabela 06 –	Características dos artigos internacionais selecionados.	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	METODOLOGIA E MATERIAIS	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1	Características Gerais	24
4.2	Uso do Sistema	31
4.2.1	Uso do sistema nos estudos nacionais	33
4.2.2	Uso do sistema nos estudos internacionais.....	34
4.3	Espécies Citadas nos Estudos	36
4.3.1	Espécies de plantas utilizadas nas pesquisas nacionais	36
4.3.2	Espécies de plantas utilizadas nas pesquisas internacionais	38
4.4	Viabilidade Econômica	39
4.5	Importância Dada à Qualidade da Água nos Estudos	41
5	CONCLUSÃO	43
6	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	44
	REFERÊNCIAS.....	45

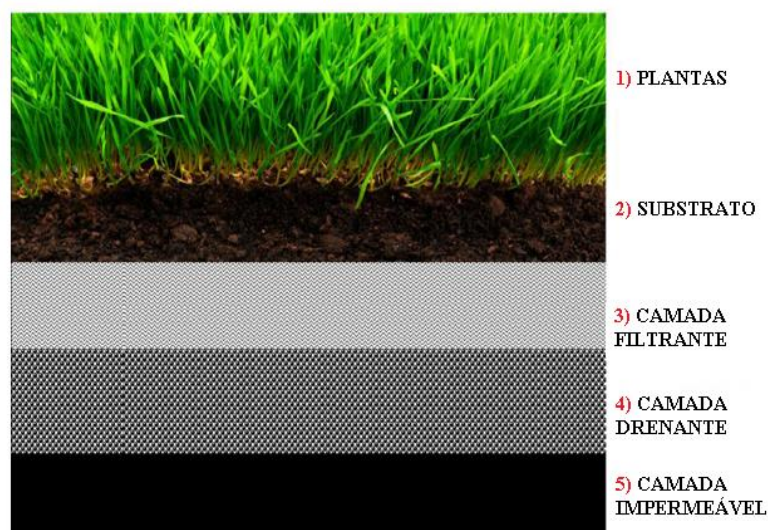
1 INTRODUÇÃO

Com a alta taxa de urbanização, as áreas verdes tendem a diminuir. Há um uso crescente de concreto (em construções de moradias e áreas públicas, como praças) e asfalto, que é usado devido à necessidade de solos que possibilitem melhor locomoção, sendo esses solos impermeáveis. Com o uso desses materiais surgem efeitos negativos, como as “ilhas de calor”, causadas pela alta absorção de calor por esses materiais, além de outros fatores, como a crescente verticalização das construções, elevada emissão de gás carbônico e a diminuição das áreas verdes; e o escoamento elevado, que é causado pela baixa taxa de permeabilidade dos solos urbanos, causando uma elevação no escoamento e gerando cada vez mais alagamentos em áreas urbanas.

Diante destas problemáticas, é necessária a implantação de soluções alternativas que buscam minimizar os efeitos resultantes das ações humanas em áreas urbanas. Uma das alternativas tecnológicas que envolvem as duas questões ambientais supracitadas é o Telhado Verde.

Telhado verde é uma técnica usada em arquitetura cujo objetivo principal é o plantio de árvores e plantas nas coberturas de residências e edifícios. Ele é formado por camadas, as quais consistem em uma estrutura de suporte do telhado (como uma laje de concreto armado, por exemplo), uma camada impermeável, uma camada drenável, uma camada filtrante, uma camada de solo ou substrato, e a cobertura contra erosão da chuva e vento, sendo utilizadas, normalmente, gramíneas (MELLO et al., 2010). A disposição das camadas pode ser vista na Figura 01, a seguir:

Figura 01 - Camadas dos telhados verdes.



Fonte: Adaptado de Hashemi, Mahmud e Ashraf (2015)

Esse tipo de sistema costuma ser utilizado em diversos países para reduzir a variação de temperatura. Em países frios, o telhado verde mantém o calor dentro das residências, enquanto que em países quentes, o telhado verde mantém o interior das residências mais fresco.

Ainda segundo Mello et al., (2010), esse tipo de cobertura também contribui diminuindo o escoamento superficial, pois ele intercepta parte da chuva precipitada. Pode ser aplicado em grande escala para reduzir o problema de alagamentos que se tornam comuns em grandes cidades como São Paulo e Curitiba, no Brasil, devido ao alto índice de impermeabilização do solo.

Os telhados verdes também podem ser usados para reduzir a poluição do ar, principalmente em grandes cidades, assim como mitigar as ondas de calor, diminuir os ruídos, aumentar as áreas verdes, influenciar na saúde mental da população e também tem função estética, podendo representar um aumento no valor dos imóveis onde são instalados e de imóveis vizinhos.

Em conformidade com o que foi dito por Berardi et al., (2014 apud MELO; MENDONÇA, 2017), os telhados verdes podem ser classificados como do tipo extensivo ou intensivo. O tipo extensivo corresponde ao sistema mais leve, com a laje apresentando uma sobrecarga máxima de 150 kg/m^2 , onde são utilizadas plantas de pequeno porte com raízes mais rasas e de mais fácil implantação, com uma manutenção simples, pois necessita ser pouco irrigado, além de ter um custo

de execução baixo. Em contrapartida, os telhados que fazem uso de plantas que apresentam maior crescimento e, assim, raízes mais profundas, são chamados de intensivos, pois necessitam de uma manutenção “intensiva”, sendo indispensável uma irrigação frequente e o uso de fertilizantes, gerando um maior custo para ser implantado e mantido (DUNNETT; KINGSBURY, 2004; PECK, 1999 apud SANTOS et al., 2013).

Além disso, segundo Buffam, Mitchell e Durtsche, (2016), os telhados verdes trazem muitos benefícios ambientais, mas podem ser desencorajados ao lançar nutrientes e metais através do escoamento das águas pluviais captadas pelo sistema, água esta que é despejada nos ecossistemas à jusante. Os estudos acerca dos impactos causados pelo sistema na qualidade da água são limitados, pois dependem de amostras instantâneas no tempo e que podem não representar com precisão a real influência dos ecossistemas dos telhados verdes, que, como os sistemas naturais, provavelmente variam com fenômenos da natureza (chuvas, secas, entre outros) e as estações do ano.

A motivação para esse estudo surgiu da necessidade de soluções alternativas e sustentáveis que combatam os problemas causados pelo uso de materiais que impermeabilizam o solo e causam efeitos negativos em áreas urbanas. Ajudando na diminuição da temperatura e dos alagamentos, além de outros fatores, como a possível reutilização da água, caso está presente qualidade.

Com isso, esse estudo tem como objetivo fazer uma revisão sistemática das aplicações, benefícios e problemáticas do uso de telhados verdes como alternativa sustentável para mitigar os efeitos negativos da urbanização. Além de analisar o quanto essas pesquisas dão importância à qualidade da água que escoar desse sistema e se é possível ser feito reuso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse estudo é fazer uma revisão sistemática de literatura sobre o uso dos telhados verdes como alternativa para mitigar os efeitos negativos do crescimento da urbanização, como a alta impermeabilização do solo que gera aumento do escoamento superficial e ilhas de calor.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar pesquisas sobre o uso de telhados verdes que contribuam para a realização da revisão sistemática do tema.
- Comparar estudos sobre o uso de telhados verdes para diminuição de temperatura e retenção de escoamento de águas pluviais.
- Analisar a importância dada à qualidade da água oriunda dos telhados verdes em meio aos estudos coletados.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

O presente estudo tem a intenção de fazer uso da técnica de revisão sistemática da literatura sobre telhados verdes e suas aplicações acerca da diminuição de temperatura, redução do escoamento de águas pluviais e análise da qualidade da água oriunda do sistema.

Uma revisão sistemática consiste na formulação de uma pergunta e identificação de estudos relevantes para o tema. Esses estudos são avaliados quanto a sua qualidade e as evidências são resumidas ao se usar uma metodologia explícita. É o uso da metodologia explícita que distingue as revisões tradicionais de uma revisão sistemática (KHAN et al., 2003).

É sugerido por Khan et al., (2003), que, para uma revisão sistemática bem executada, sejam seguidos cinco passos. Esse passo-a-passo está disposto na Tabela 01, a seguir, (sempre que o termo “*revisão*” for usado neste trabalho representará uma “*revisão sistemática*”).

Tabela 01 - Os passos de uma revisão sistemática

Passos da revisão
Passo 1: Desenvolver questionamentos para uma revisão
Passo 2: Identificar pesquisas relevantes
Passo 3: Avaliar a qualidade dos estudos
Passo 4: Resumir os dados
Passo 5: Interpretar os resultados

Fonte: Khan et al. (2003)

Passo 1: Desenvolver questionamentos para uma revisão

De acordo com Khan et al., (2003), antes de iniciar a revisão, os problemas a serem abordados precisam ser especificados por meio de perguntas claras, sem ambiguidades e bem estruturadas. Com isso, é estabelecido que a formulação de uma pergunta adequada para esse tipo de pesquisa de consistir de uma intervenção, uma população e um resultado.

Para este trabalho foi definida a seguinte pergunta:

”A implantação dos telhados verdes é eficiente na minimização dos efeitos negativos causados pela urbanização?”

Onde se tem a seguinte estrutura da questão:

- Abrangência: implantação de área verde que mitigue os efeitos negativos da urbanização, como o aumento da temperatura e uma maior ocorrência de alagamentos devido à impermeabilização do solo;
- Intervenção: testar a eficiência dos telhados verdes diante desses problemas;
- Resultado: o uso de telhados verdes pode ter alto custo e não ser autossustentável, além de gerar efluentes de baixa qualidade.

Com isso, as pesquisas devem analisar a eficiência dos diferentes usos dos telhados verdes, além de apontar os aspectos econômicos envolvidos no sistema implantado e o quanto este afeta os ecossistemas à jusante.

Passo 2: Identificar pesquisas relevantes

A partir deste passo, serão definidos critérios para seleção das pesquisas relevantes. De acordo com Khan et al., (2003), deve ser selecionada uma quantidade extensiva de estudos para o embasamento da revisão e os critérios de seleção dos estudos devem ser claros e registrados, para que possam ser reproduzidos em trabalhos futuros.

Para o presente trabalho, foi escolhido fazer buscas nas plataformas SciELO para os artigos nacionais, usando a palavra-chave “*green roof*”, para que todos os artigos sobre o tema aparecessem nos resultados das buscas, e restringindo as pesquisas ao Brasil, e Periódicos-CAPES, para os artigos internacionais, usando as palavras-chave “*green roof; thermal comfort; stormwater quality; runoff water management*”, restringindo os resultados entre os anos 2013 e 2018, e selecionando apenas periódicos revisados por pares. Os resultados das buscas foram: 12 artigos nacionais, onde um deles apresenta apenas uma vez a citação da palavra-chave “*green roof*” e seu conteúdo é totalmente disperso do tema, sendo assim, foram usados apenas 11 artigos nacionais; 40 artigos internacionais, onde um deles não pôde ser encontrado por meio da plataforma usada, Periódicos-CAPES, e outro foge ao tema, sendo assim, foram usados para o estudo apenas 38 artigos internacionais.

Sobre a pesquisa é importante destacar que, ao se usar o correspondente em português das palavras-chave usadas na busca dos artigos internacionais, ou seja, “telhado verde; conforto térmico; qualidade das águas pluviais; gestão de água de

escoamento”, não foram encontrados artigos significantes à pesquisa, tendo sido necessária a mudança de critério entre as buscas nacionais e internacionais.

O passo seguinte foi analisar a classificação das revistas nas quais os artigos selecionados foram publicados. Foram usadas para esse trabalho apenas revistas com o *Qualis* A1, A2 e B1. A plataforma usada para a busca das revistas foi a “Sucupira”, na função “Qualis Periódicos”, usando as definições de “CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016” e “ENGENHARIAS I”. Essa análise resultou em: 10 dos 11 artigos nacionais com revistas classificadas no *Qualis* B1 e 1 revista classificada no *Qualis* B3, que foi descartada da revisão; do total de 38 artigos internacionais, 14 se classificaram com *Qualis* A1, 4 com *Qualis* A2, 1 com *Qualis* B1, 1 com *Qualis* B3 e 18 sem classificação, sendo estes últimos e o artigo classificado com B3 descartados da revisão. No fim, foram usados 10 artigos nacionais e 19 artigos internacionais neste estudo.

Segundo Schenck, Blaauw e Viljoen, (2016), com o intuito de melhor filtrar os artigos, foram formuladas questões como restrição da qualidade e adequação ao tema e associadas pontuações aos artigos que atendem a solicitação feita na pergunta.

A Tabela 02, a seguir, apresenta as questões, onde foram definidos como “Q” os quesitos.

Tabela 02 - Questões restritivas sobre o tema.

Questionário
Q1: Os objetivos do artigo estão descritos claramente?
Q2: O uso de telhados verdes é citado?
Q3: É discutido sobre os principais usos dos telhados verdes?
Q4: A coleta e análise de dados são descritas?
Q5: As espécies utilizadas e o substrato são descritos no estudo?
Q6: Os resultados são descritos claramente?
Q7: O estudo faz análise sobre a viabilidade econômica do sistema?
Q8: As problemáticas do estudo são apresentadas?

Fonte: Autora (2019)

Para cada resposta positiva foi associado o número “1” e para as respostas negativas foi associado o número “0”. Para cada artigo foi calculada uma porcentagem, que consiste na soma de respostas positivas dividido pelo número de

questões, esse valor é multiplicado por 100 para ser encontrado o valor da porcentagem. Os artigos com porcentagem entre 100% e 67% são considerados “**Bom**”, os artigos entre 66% e 34% são considerados “**Satisfatório**” e os artigos entre 33% e 0% são considerados “**Ruim**”. Para esse estudo, serão considerados apenas os artigos classificados como “**Bom**”, a fim de obter conteúdo mais qualificado ao tema.

Passo 3: Avaliar a qualidade dos estudos

Como dito anteriormente, foram utilizados para esse trabalho 10 artigos nacionais e 19 artigos internacionais. Esses artigos foram avaliados de acordo com as restrições impostas no Passo 2. Na Tabela 03, a seguir, podem ser vistos os resultados da avaliação dos artigos nacionais.

Tabela 03 - Resultados da avaliação dos artigos nacionais.

Pesquisa	Autor	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Resultado (ΣQ)	%
1	MELO; MENDONÇA (2017)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
2	CARNEIRO et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
3	MORUZZI; MOURA; BARBASSA (2014)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
4	SANTOS et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
5	TASSI et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
6	TEIXEIRA et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
7	VIEIRA et al. (2013)	1	0	0	1	0	1	0	1	4	50,0
8	SAMPAIO et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
9	MATHEUS et al. (2016)	1	1	0	1	0	1	0	1	5	62,5
10	OMAR et al. (2018)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75,0

Fonte: Autora (2019)

Os resultados mostram que a maioria dos artigos apresentou desempenho considerado “Bom” para o presente estudo. No fim, foram usados 8 artigos para a avaliação das pesquisas nacionais. A Tabela 04 apresenta esses estudos com as características de uso do telhado verde, que podem ser conferidas, a seguir.

Tabela 04 - Características dos artigos nacionais selecionados.

Pesquisa	Autor	Uso
1	MELO; MENDONÇA (2017)	Conforto térmico
2	CARNEIRO et al. (2015)	Conforto térmico
3	MORUZZI; MOURA; BARBASSA (2014)	Gestão de escoamento
4	SANTOS et al. (2013)	Gestão de escoamento
5	TASSI et al. (2013)	Gestão de escoamento
6	TEIXEIRA et al. (2016)	Qualidade de água
7	OMAR et al. (2018)	Conforto térmico
8	SAMPAIO et al. (2018)	Conforto térmico

Fonte: Autora (2019)

A análise mostrou que, a maioria dos artigos publicados no Brasil trata de conforto térmico/desempenho térmico e gestão de escoamento, pois são problemas comuns do país.

Quanto aos estudos internacionais, também foi feita a avaliação em relação às restrições impostas. Os resultados podem ser vistos na Tabela 05, a seguir:

Tabela 05 - Resultados da avaliação dos artigos internacionais.

Pesquisa	Autor	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Resultado (ΣQ)	%
1	HASHEMI; MAHMUD; ASHRAF (2015)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	100
2	SHAFIQUE; KIM; RAFIQ (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	100
3	HUANG; CHEN; TSAI (2016)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
4	LIM; LU (2016)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
5	WANG et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	100
6	DEMUZERE et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
7	SPROUL et al. (2014)	1	1	1	1	0	1	1	1	7	87,5
8	BEVILACQUA et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	87,5
9	SANGKAKOOL et al. (2018)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75,0
10	MOHAJERANI; BAKARIC; JEFFREY- BAILEY (2017)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75,0
11	FENG; BURIAN; PARDYJAK (2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	100
12	BISCEGLIE; GIGANTE; BERGONZONI (2014)	1	1	0	1	0	1	0	1	5	62,5
13	NORTON et al. (2015)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75,0
14	CHEN; TUNG; LI (2017)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75,0
15	CONNOP et al. (2016)	1	0	1	1	0	1	0	1	5	62,5
16	FILHO et al. (2017)	1	1	0	1	0	1	0	1	5	62,5
17	MANGONE (2016)	1	0	0	1	0	1	0	1	4	50,0
18	DIZDAROGLU; YIGITCANLAR (2014)	1	0	0	1	0	1	0	1	4	50,0
19	YAN; SHAKER; EL- ASHMAWY (2015)	1	0	0	1	0	1	0	1	4	50,0

Fonte: Autora (2019)

A partir da análise feita, pôde-se concluir que mais da metade dos artigos apresentaram desempenho “Bom”. No fim, foram selecionados 13 artigos, de acordo com as restrições. Na Tabela 06, a seguir, são apresentados os estudos selecionados e os usos do telhado verde.

Tabela 06 - Características dos artigos internacionais selecionados.

Pesquisa	Autor	Uso
1	HASHEMI; MAHMUD; ASHRAF (2015)	Qualidade da água e consumo de energia
2	SHAFIQUE; KIM; RAFIQ (2018)	Revisão
3	HUANG; CHEN; TSAI (2016)	Conforto térmico
4	LIM; LU (2016)	Gestão de escoamento
5	WANG et al. (2017)	Conforto térmico
6	DEMUZERE et al. (2014)	Viabilidade - multicritério
7	SPROUL et al. (2014)	Viabilidade econômica
8	BEVILACQUA et al. (2016)	Conforto térmico
9	SANGKAKOOL et al. (2018)	Viabilidade – multicritério
10	MOHAJERANI; BAKARIC; JEFFREY-BAILEY (2017)	Conforto térmico
11	FENG; BURIAN; PARDYJAK (2018)	Viabilidade econômica
12	NORTON et al. (2015)	Conforto térmico
13	CHEN; TUNG; LI (2017)	Gestão de escoamento

Fonte: Autora (2019)

Com a classificação dos estudos pôde ser visto que uma maior parcela dos artigos internacionais trata de conforto térmico e apresentam algumas questões econômicas.

Passo 4: Resumir os dados

O quarto passo tem o intuito de analisar e resumir as características e a qualidade dos diferentes estudos selecionados.

Como dito anteriormente, inicialmente foram selecionados 11 estudos nacionais e 38 internacionais. Ao aplicar as restrições do Passo 2, foram selecionados 8 estudos nacionais e 13 internacionais, onde todos os estudos são artigos publicados. A maioria dos estudos nacionais trata de conforto térmico ou gestão de escoamento. Já os artigos internacionais, além da maioria também tratar de conforto térmico, tratam de viabilidade econômica com ênfase no consumo de energia.

Segundo Santos et al. (2013), o tipo de vegetação, o tipo de solo e a espessura das camadas são os principais fatores determinantes do funcionamento dos telhados verdes.

Os estudos sobre conforto térmico mostraram que o telhado verde pode apresentar uma menor amplitude térmica do local que é aplicado, onde as temperaturas têm menor variação, funcionando tanto para locais com altas ou baixas temperaturas, isso em comparação com os telhados convencionais.

Com a diminuição da temperatura há também uma redução de energia utilizada para resfriamento ou aquecimento do local. O que proporciona economia com os gastos do local.

Quanto à redução de escoamento, as pesquisas mostraram que os telhados verdes são muito efetivos. No estudo aplicado a loteamentos residenciais feito por Filho et al., (2016), foi constatada uma eficiência máxima global de 55,67% do sistema. Em condições onde o solo está seco, a eficiência hidrológica média foi de 40,35%, já na condição normal do solo, onde há um aumento da umidade, a eficiência é reduzida para 29,05%, e, quando o solo está na iminência de saturação, a eficiência chega a 10,44%. Apesar da efetividade na redução do escoamento depender da umidade na qual se encontrava o solo antes do evento chuvoso, pode-se afirmar que o sistema apresenta um potencial considerável na ajuda de controle de alagamentos devido à sobrecarga dos órgãos hidráulicos receptores das águas pluviais.

Com relação à qualidade da água oriunda do sistema, os poucos estudos encontrados relatam as dificuldades de não tornar o telhado uma fonte de poluição, dependendo do substrato e espécies utilizadas em diferentes cenários climáticos. Conforme detalhado no estudo de Hashemi, Mahmud e Ashraf, (2015), no escoamento dos telhados verdes, os poluentes mais comumente selecionados para estudos são algumas formas de fósforo, nitrogênio e metais pesados. Para se analisar a influência que o sistema tem na redução ou aumento da poluição, é feita a comparação da concentração de poluentes na água que entra (água da chuva) e na água que sai (água de escoamento) do telhado verde. Quando há redução da poluição, a concentração de poluentes é menor na água de saída que na água de entrada, para o evento de chuva analisado. Se o oposto é constatado, o sistema é considerado uma fonte de contaminantes. Como relatado por diferentes estudos, a qualidade da água é diretamente influenciada pelo modo de construção do telhado e a sua manutenção.

Ao se analisar os artigos mais qualificados, de acordo com o *Qualis*, pôde-se perceber que boa parte das pesquisas internacionais não apresentam estudos de caso onde é feito uso do telhado verde, apenas são feitas citações ao tema no qual o relacionam como uma das alternativas para solucionar as problemáticas apresentadas em seus estudos. Com isso, muitos foram descartados desse trabalho por não contribuir significativamente para o mesmo.

Passo 5: Interpretar os resultados

Segundo Khan et al., (2003), neste passo são analisados os aspectos da pesquisa de modo que sejam avaliados os pontos positivos e negativos encontrados, para que se tenha conhecimento destes ao se fazer recomendações futuras. Sobre os quesitos que necessitam de mais desenvolvimento, é aconselhável que haja propostas para pesquisas futuras, que serão abordadas no tópico 6 deste trabalho.

A presente pesquisa teve o intuito de analisar os principais usos dos telhados verdes – redução de temperatura e economia de energia, redução de escoamento de água de chuva e qualidade da água –, suas vantagens e desvantagens. Foi constatado, com a revisão sistemática, que a literatura possui diversos estudos para o embasamento desse trabalho.

Com a coleta dessas pesquisas foi possível constatar que há poucos estudos que contemplem o tema de forma ampla. Muitos foram feitos a escala local, com problemas específicos, dificultando a análise a nível global. Também há escassez de artigos nacionais que apresentem análises sobre a qualidade de água proveniente do escoamento dos telhados verdes. Os artigos internacionais, apesar de apresentarem muitas pesquisas que citem o tema, ao se aplicar as restrições apresentadas no presente trabalho, reduzem a quantidade de estudos significantes sobre o sistema, resultando em uma escassez de artigos sobre a qualidade da água escoada dos telhados verdes. Outro ponto é a falta de pesquisas, tanto nacionais quanto internacionais, que apresentem os custos do sistema.

Por outro lado, a quantidade de artigos coletada foi suficiente para se tirar conclusões sobre o tema e analisar a sua utilidade e viabilidade quanto a sua instalação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta sessão serão analisados, de forma detalhada, os artigos selecionados por meio da metodologia de Khan et al., (2003), e que foi aplicado ao presente trabalho. Alguns tópicos considerados de maior importância foram escolhidos e serão apresentados nos itens a seguir.

4.1 Características Gerais

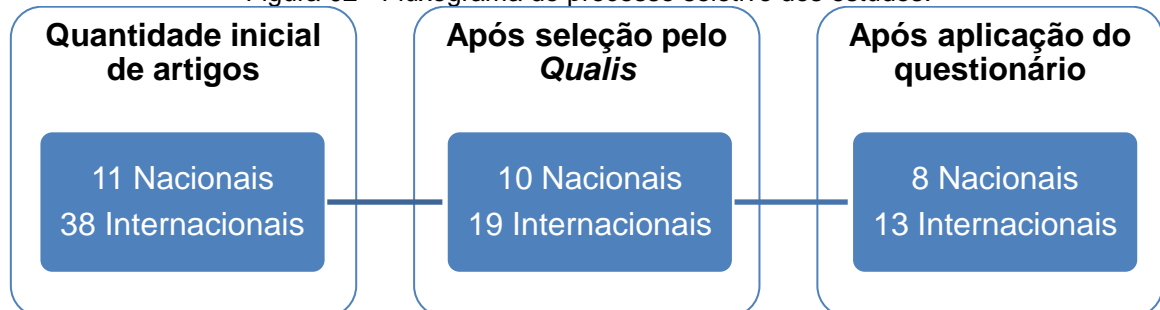
Neste tópico serão abordados detalhes gerais sobre os estudos selecionados, como o continente onde foi publicada a pesquisa, quantas citações essa pesquisa recebeu até o momento em que foram coletados os artigos, as revistas onde foram publicadas e os continentes onde foram publicadas, sendo apresentada a possível explicação para os continentes que se destacarem. Além disso, também será analisada a quantidade de publicações no espaço de tempo a que se destina esse trabalho.

A quantidade total de pesquisas, considerando os estudos nacionais e internacionais, foi de 21 artigos. Esse total foi resultado das restrições impostas pela metodologia para que apenas estudos relevantes fossem usados para a análise. Dentre esse universo selecionado, os artigos nacionais representam 38% do total, o que é um valor considerável, visto que os 62% restante está associado a artigos internacionais, ou seja, de inúmeros países.

Apesar de estarem em maior número, muitos dos artigos internacionais foram descartados por não atenderem os critérios apresentados anteriormente, visto que dos 38 estudos constatados inicialmente, após serem aplicadas as restrições do Passo 2 da metodologia do presente trabalho, apenas 13 artigos alcançaram pontuações suficientes para serem analisados, ou seja, apenas 34%. Entretanto, os documentos se mostraram mais qualificados, já que das 13 pesquisas utilizadas, 10 se encontram em revistas de *Qualis* A1 e 3 em revistas de *Qualis* A2. Diferente dos artigos nacionais, onde todas as 8 pesquisas se encontram em revistas de *Qualis* B1.

O fluxograma na Figura 02, a seguir, mostra o processo de seleção dos artigos usados no presente estudo:

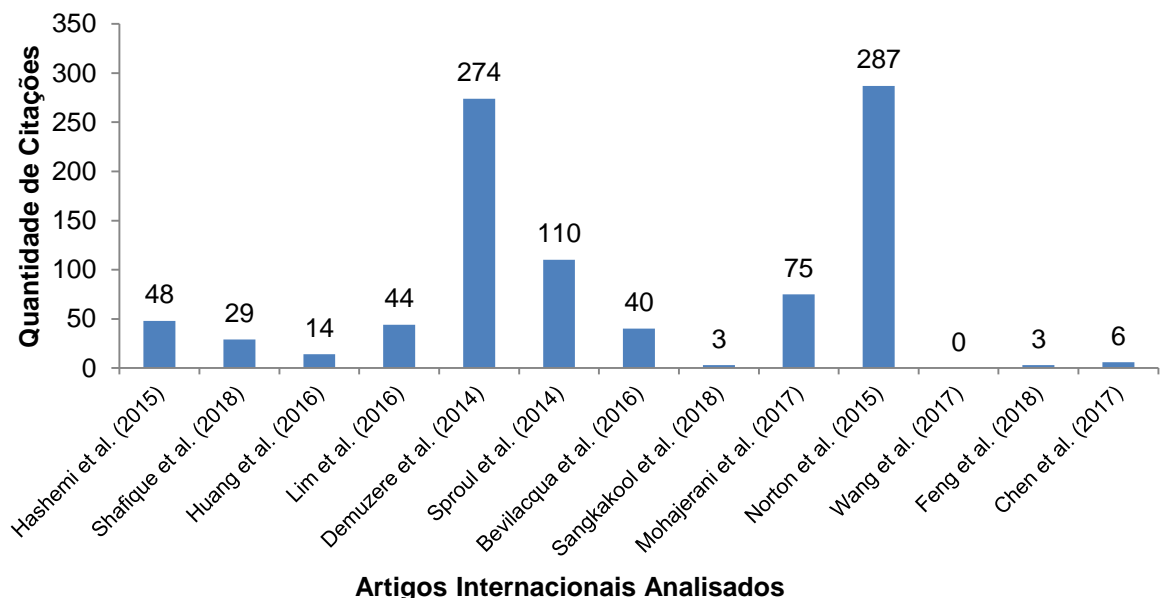
Figura 02 - Fluxograma do processo seletivo dos estudos.



Fonte: Autora (2019)

Quanto ao reconhecimento dos estudos selecionados, os artigos internacionais se mostraram a frente dos nacionais. A quantidade de citações das pesquisas internacionais pode ser vistas na Figura 03, a seguir, destacando-se o artigo de Norton et al., (2015), que recebeu o maior número de citações, 287, e que aborda métodos de mitigação do aquecimento devido ao desenvolvimento urbano, por meio de uma revisão de literatura científica, ao se analisar quatro tipos de infraestruturas urbanas verdes: espaços abertos verdes (principalmente parques públicos), árvores que projetam sombras densas, telhados verdes e sistemas verticais de esverdeamento (paredes e fachadas verdes), em um estudo de caso na Austrália.

Figura 03 - Quantidade de citações dos artigos internacionais.



Artigos Internacionais Analisados

Fonte: Autora (2019)

Destaca-se, também, o artigo de Demuzere et al., (2014), que recebeu o segundo maior número de citações, 274, e que similarmente aborda sobre as

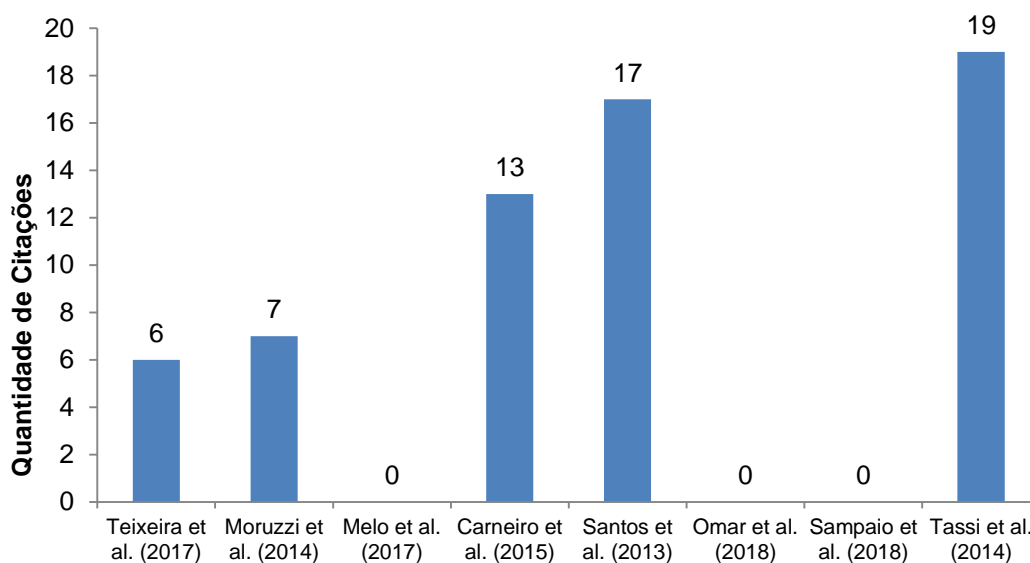
infraestruturas urbanas verdes. No entanto, seu estudo aborda de forma mais ampla as aplicações do sistema, como os benefícios térmicos, benefícios psicológicos e sociais para os indivíduos, melhoria da qualidade do ar e da água e redução de escoamento das águas pluviais.

A análise das citações mostra que a implantação de estruturas verdes é uma preocupação recorrente, visto que os estudos que abordam esse tema são amplamente procurados. Isso demonstra que não só as mudanças climáticas estão se intensificando e se tornando um problema cada vez mais presente, como, também, a conscientização quanto às mudanças de infraestruturas e hábitos individuais precisa acontecer o mais rápido possível, para que se possam mitigar suas consequências.

Em relação aos artigos nacionais, apenas 62,5% deles foram citados em outras pesquisas. Pode-se justificar a falta de citações por, no momento em que este trabalho começou a ser elaborado, as pesquisas serem, de certo modo, recentes. Outra justificativa é que o telhado verde, no Brasil, está começando a ganhar mais atenção quanto a sua importância há relativamente pouco tempo. Apesar disso, os artigos tiveram um reconhecimento considerável, destacando-se o artigo de Tassi et al., (2014), com 19 citações e que trata da gestão quantitativa do escoamento das águas pluviais, escoamento este que é atenuado com a alta taxa de impermeabilização do solo devido a urbanização crescente.

A quantidade de citações por artigos nacionais pode ser vista na Figura 04, a seguir.

Figura 04 - Quantidade de citações dos artigos nacionais.



Artigos Nacionais Analisados

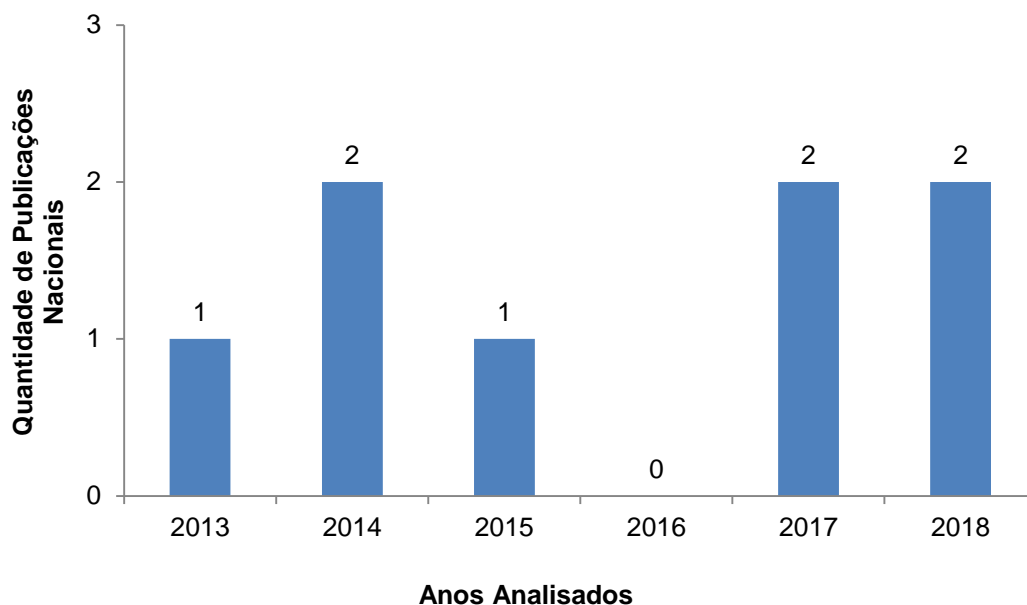
Fonte: Autora (2019)

Outro artigo que se destacou foi Santos et al., (2013), com 17 citações, e que também aborda o tema de gestão de escoamento das águas pluviais, onde foi feita uma simulação do uso do sistema para contenção da água da chuva e para mitigar consideravelmente o nível dos alagamentos no pico de cheia.

A busca por artigos que se referem ao escoamento superficial mostra que há uma necessidade recorrente de medidas que possam amenizar os efeitos que a urbanização sem planejamento traz. No Brasil, as cidades cresceram com rapidez e não foram feitos projetos adequados para os sistemas de retenção de águas pluviais e projetos de pavimentação, de modo que, atualmente, grandes cidades apresentam uma alta taxa de impermeabilização do solo, o que, com eventos chuvosos cada vez mais intensos, resultam em picos de vazão gradativamente maiores. Com isso, é crescente a procura por alternativas que possam amenizar esses transtornos.

Com relação à quantidade de publicações por ano, foi considerado como intervalo de tempo os anos 2013 a 2018. Como pode ser visto na Figura 05, a seguir, nacionalmente o número de publicações oscilou ao longo dos anos 2013 a 2016 e se manteve estável a partir do ano 2017.

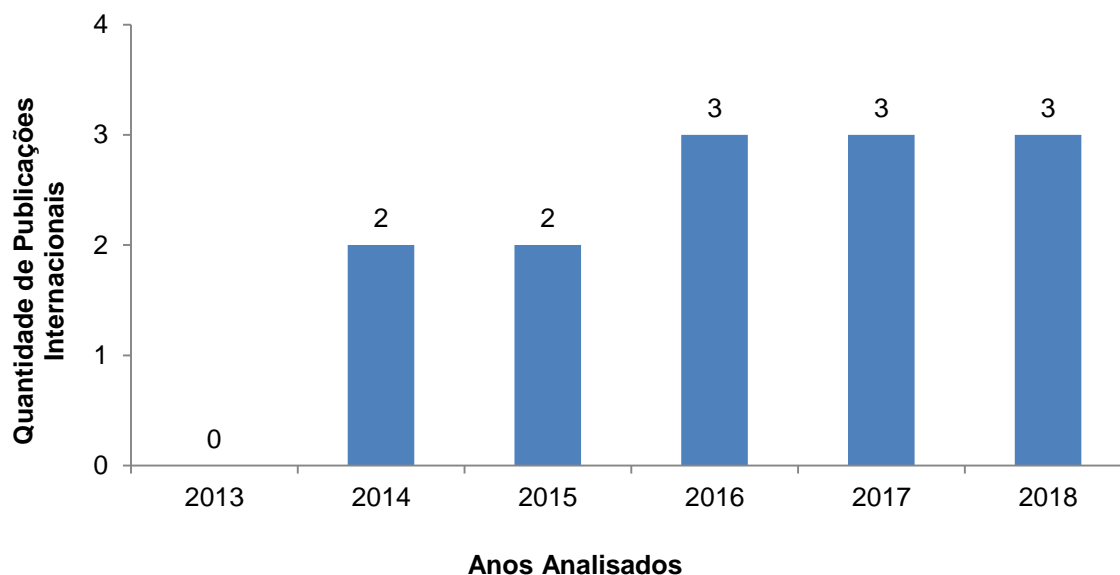
Figura 05 - Número de publicações nacionais por ano.



Fonte: Autora (2019)

Já as publicações internacionais se mantiveram crescente ao longo dos anos, porém sem nenhum estudo no ano de 2013. O gráfico que mostra essa constatação pode ser visto na Figura 06, a seguir.

Figura 06 - Número de publicações internacionais por ano.



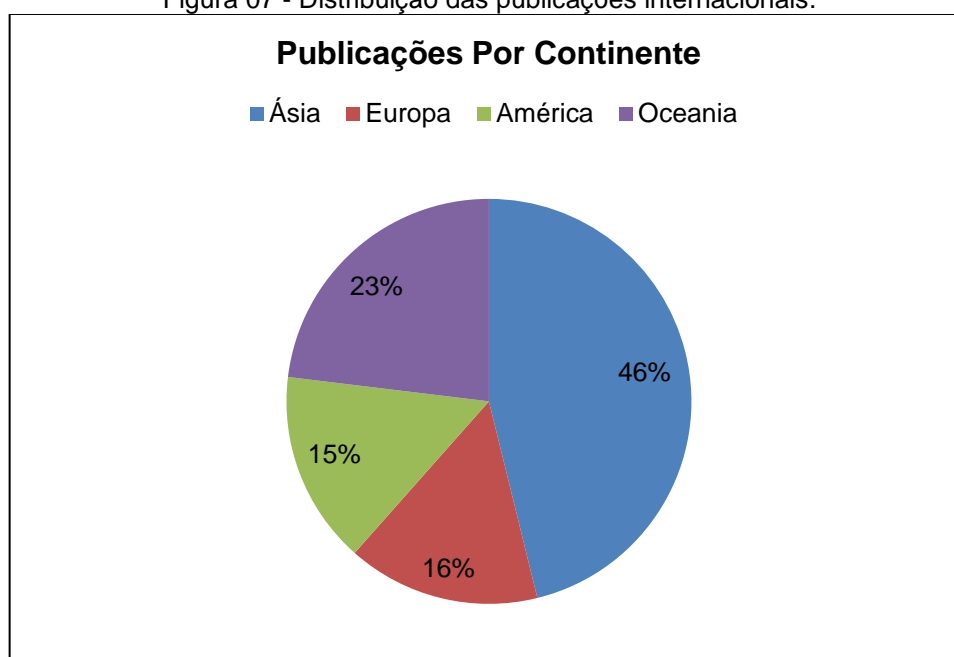
Fonte: Autora (2019)

A partir dos gráficos, pode-se afirmar que a quantidade de publicações nacionais e internacionais aparenta um interesse dos pesquisadores que tende a ser mais recorrente sobre o tema nos últimos anos, com 2017 e 2018 sendo os anos com maior número de publicações, em um total de 5 estudos por ano, em seguida o

ano de 2014, com 4 estudos. O ano com maior discrepância foi 2016, onde houve 3 pesquisas internacionais publicadas e nenhuma nacional.

Os artigos internacionais foram publicados em quase todos os continentes, apenas a África não fez parte da pesquisa. A Ásia foi o continente com o maior número de publicações, seguida pela Oceania e por fim, com a mesma quantidade de publicações, América e Europa. Entre os países asiáticos que mais se destacaram, está o Taiwan. O gráfico representando a distribuição desses dados pode ser visto na Figura 07, a seguir.

Figura 07 - Distribuição das publicações internacionais.



Fonte: Autora (2019)

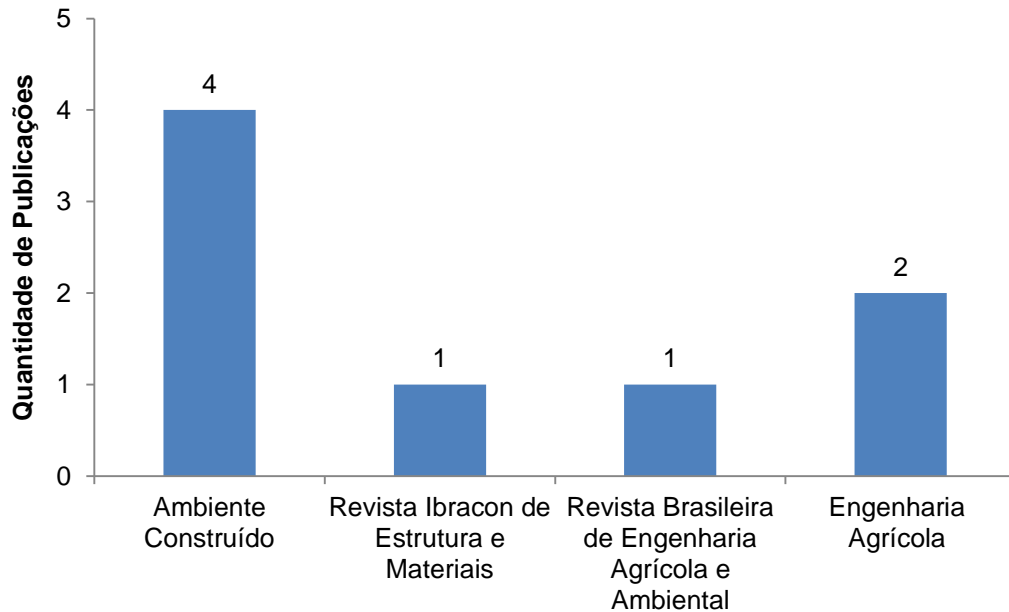
Em análise, pode-se perceber que a maioria dos países asiáticos que apareceram na pesquisa está em desenvolvimento, podendo significar que, como o Brasil, esses países estão em busca de novas alternativas para minorar os efeitos negativos do crescimento acelerado de suas cidades, como o aumento da temperatura e do escoamento superficial. Além disso, uma quantidade considerável de países desenvolvidos também está presente nesse estudo, como os Estados Unidos da América, Austrália, Itália, Bélgica, e na Ásia, Coreia do Sul.

Entre as revistas onde foram publicados os artigos, as nacionais apresentam uma boa qualidade acerca do tema, visto que todas as revistas nacionais se

enquadraram na mesma classificação (B1) e as internacionais apresentam qualidade excelente (A1) e muito boa (A2).

A revista nacional com a maior quantidade de publicações foi a *Ambiente Construído*, com 4 artigos do presente estudo. A Figura 08, a seguir, mostra a quantidade de pesquisas por revista.

Figura 08 - Quantidade de publicações por revista nacional.

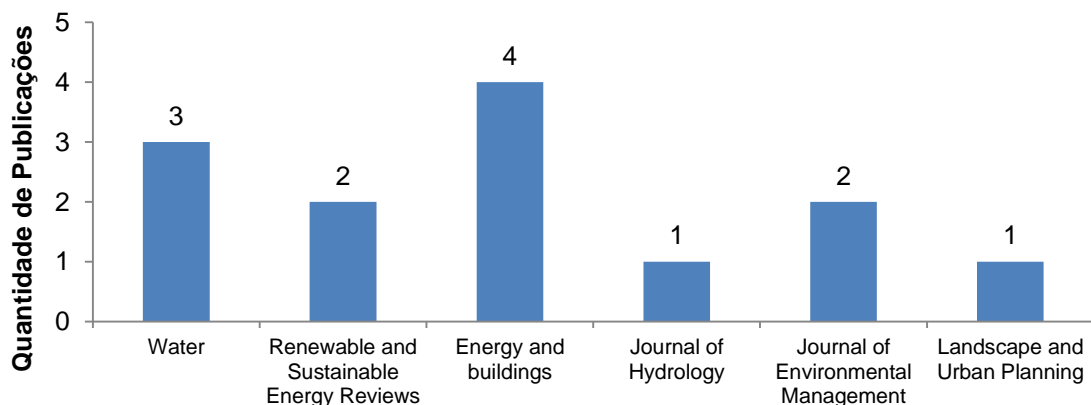


Revistas Nacionais Analisadas

Fonte: Autora (2019)

Com relação às revistas internacionais, a com maior número de publicações é a *Energy and Buildings*, com 4 publicações do presente estudo. O gráfico na Figura 09, a seguir, mostra a quantidade de artigos por revista internacional.

Figura 09 - Quantidade de publicações por revista internacional.



Revistas Internacionais Analisadas

Fonte: Autora (2019)

Quanto aos artigos nacionais, a maioria busca testar o sistema e analisar se este atende aos seus objetivos, sendo os mais importantes o conforto térmico e a redução do escoamento superficial oriundo das águas pluviais. Em um número bem menor de estudos, é feita a comparação da qualidade da água de telhados convencionais e dos telhados verdes, a fim de determinar sua efetividade quanto à filtragem de poluentes ou se, na verdade, é o sistema em si uma fonte de poluição dos ecossistemas à jusante.

Já as publicações internacionais buscam analisar não só os usos mais importantes dos telhados verdes, como, também, se o sistema é viável de ser aplicado quanto ao seu alto valor econômico inicial. Não só isso, como há um valor de manutenção envolvido que também é analisado por alguns artigos, pois o telhado verde pode necessitar de manutenção mais intensiva ou menos intensiva, a depender da escolha do tipo intensivo ou extensivo.

4.2 Uso do Sistema

Como dito na introdução deste trabalho, os telhados verdes podem ter diversos benefícios, entre eles estão: conforto térmico, redução da poluição do ar, gestão de escoamento das águas pluviais e melhoria da qualidade da água.

O conforto térmico se dá por meio do controle da variação de temperatura no ambiente, podendo ser aplicado tanto para climas frios quanto climas quentes, nos quais se apresenta mais significativamente. Segundo Melo e Mendonça, (2017), esse controle é possível pois o telhado verde é um isolante térmico com uma transmitância térmica menor que os telhados convencionais. Não só isso, mas também a espessura do substrato e o tamanho das folhas influenciam no funcionamento do sistema (DEL BARRIO, 1998 apud MELO; MENDONÇA, 2017).

Segundo Bevilacqua et al., (2016), a redução da poluição do ar por meio dos telhados verdes acontece pois o sistema retira o dióxido de carbono da atmosfera, este lançado por veículos ao queimar combustível e outras fontes poluidoras. Isso representa uma melhora na qualidade de vida da população local, tanto socialmente quanto na saúde física e mental, ao proporcionar bem-estar.

Em relação à redução do escoamento superficial, Tassi et al., (2014), explica que a vegetação, o substrato e a camada de drenagem do sistema servem como armazenadores da água da chuva, impedindo, ao menos temporariamente, que sobrecarregue os seus receptores na rede de águas pluviais. A vegetação retém parte da chuva e evita que esta siga para o solo em conjunto com o processo de evapotranspiração das plantas que perde água para a atmosfera.

Ainda segundo Tassi et al., (2014), o solo do substrato também armazena a água que não fica retida na vegetação, além de ser o elemento de suporte e conter os elementos necessários para manter a plantação viva, fornecendo água e nutrientes. Porém, ele perde sua função de contenção quando está saturado, por isso a situação do substrato antes do evento chuvoso é de grande importância. O tipo de telhado verde também tem influência, visto que o telhado intensivo tem uma camada de substrato mais espessa, assim, contendo mais água da chuva e por mais tempo que o tipo extensivo, mas representa uma maior sobrecarga na estrutura de suporte. Já a camada de drenagem retém a chuva evitando que esta escoe, utilizando como fonte de água para a vegetação em tempos de estiagem, além de que sua função principal é impedir alagamentos indesejáveis e excesso de água na plantação, pois a estrutura do telhado é praticamente horizontal.

Com relação à qualidade da água, Teixeira et al., (2017), afirma que pode tanto melhorar quanto piorar, a depender de vários fatores, como: tipo de telhado (extensivo ou intensivo), tipo de substrato, vegetação, se é feito uso de fertilizantes e com que frequência. Pois, o telhado pode liberar nutrientes, metais pesados e alterar a cor da água que sai do sistema. Por outro lado, o telhado verde pode servir como filtro para partículas que por ventura se encontrem na água da chuva, melhorando sua qualidade.

A escolha de como o telhado verde será usado depende da necessidade do local e a sua efetividade depende da adaptação do sistema, visto que este precisa de manutenção por se tratar de organismos vegetais que necessitam de água, sol e um solo adequado para se manter saudável e cumprir o seu objetivo.

Os tópicos a seguir mostram os dados referentes ao tipo aplicado nas pesquisas nacionais e internacionais.

4.2.1 Uso do sistema nos estudos nacionais

Na Figura 10 a seguir, podem ser vistos os tipos de uso escolhidos nos estudos nacionais utilizados neste trabalho, destacando-se o uso dos telhados verdes para Conforto Térmico, que representa 50% das pesquisas.



Fonte: Autora (2019)

De acordo com Melo e Mendonça, (2017), na sua pesquisa sobre a contribuição para isolamento térmico do Etileno Acetato de Vinila (EVA) como produto interno de blocos cimentícios para telhados verdes, foi constatado que o sistema apresentou até 2°C abaixo da temperatura dos telhados convencionais nas mesmas condições climáticas a que foram submetidos os protótipos. Além de os telhados apresentarem temperatura mais baixa no teto e ambiente interno, caracterizando uma menor amplitude térmica.

No estudo sobre o comportamento térmico de diferentes tipos de cobertura de Carneiro et al., (2015), foi constatado que os telhados verdes usando amendoim (*Arachis repens*) e grama (*Zoysia japônica*) apresentaram redução de 5,3°C e 4,4°C, respectivamente, em comparação com telhado de fibrocimento e de telhas recicladas. Mostrando que a vegetação promove um isolamento térmico reduzindo a transmissão de calor através da cobertura.

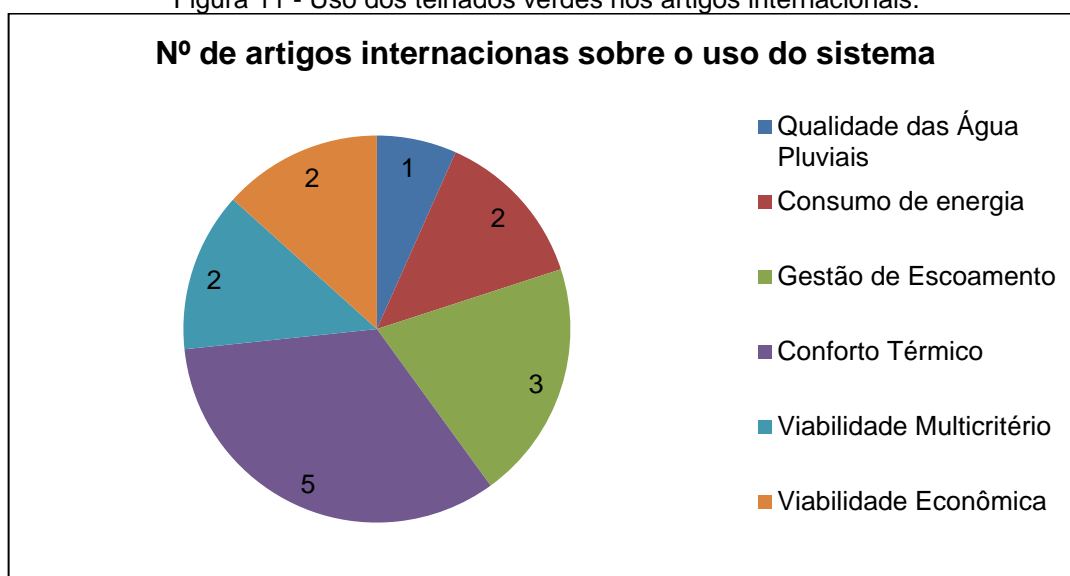
Quanto ao escoamento superficial, os telhados verdes apresentaram uma melhor capacidade de contenção de água de chuva em comparação com os

telhados convencionais, que, no caso, era composto por telhas cerâmicas. Entretanto, o telhado apresentou melhor comportamento para chuvas de menos intensidade. Em um evento chuvoso com intensidade igual a 42 mm/h, o sistema absorveu cerca de 30% da precipitação, enquanto que em chuvas de maior intensidade, no caso averiguado a intensidade foi de 79 mm/h, o sistema absorveu por volta de 15% da precipitação (SANTOS et al., 2013).

4.2.2 Uso do sistema nos estudos internacionais

Em relação aos artigos internacionais, a Figura 11, a seguir, mostra a prevalência dos estudos sobre Conforto Térmico, do mesmo modo que nas pesquisas nacionais. É importante informar que há estudos internacionais que abordam mais de um uso dos telhados verdes, então o gráfico mostra uma quantidade maior de usos do que de artigos individuais.

Figura 11 - Uso dos telhados verdes nos artigos internacionais.



Fonte: Autora (2019)

Pode-se perceber pelo gráfico que, além dos usos citados na literatura nacional selecionada para esse estudo, os telhados verdes podem afetar o consumo de energia. Além de alguns estudos terem buscado a viabilidade multicritério do sistema e a sua viabilidade econômica, devido ao alto custo de implantação que o mesmo apresenta.

Sobre o conforto térmico, Wang et al., (2017), em um estudo sobre a capacidade de um telhado verde extensivo sobreviver apenas com irrigação por

longos períodos de estiagem em uma região árida na China, constatou que o sistema é uma ótima alternativa, caso sejam usadas plantas adequadas para esse tipo de clima. Os resultados mostraram que o telhado foi efetivo no controle da variação de temperatura interna do local onde estavam sendo feitos os testes, com a temperatura ultrapassando os 35°C apenas um terço de vezes em comparação com os telhados convencionais, apesar da temperatura na área externa. Contribuindo, assim, para a redução do consumo de energia, visto que o desconforto térmico é menor.

O uso de telhados verdes hidropônicos é uma alternativa apresentada por Huang, Chen e Tsai, (2016), em seu estudo que compara a eficiência de telhados verdes extensivos e telhados verdes hidropônicos, que consistem em vasos de plásticos que flutuam em um substrato de água, ao invés de solo. Constatou-se, então, que os telhados verdes hidropônicos reduziram entre 12°C e 23°C da temperatura do telhado, além de reduzir em 70% a amplitude térmica. Apesar disso, os resultados mostraram que o telhado verde extensivo mostrou uma maior redução de temperatura e de amplitude térmica em comparação com o hidropônico, que, por sua vez, apresenta uma melhor capacidade de contenção de água de chuva.

Quanto à redução do escoamento superficial, os telhados verdes se mostram eficientes, já que a vegetação e o substrato absorvem boa parte da precipitação, evitando que esta vá para as redes públicas de drenagem. É importante que o tipo de planta seja adequado e que tenha boa capacidade de contenção de água, assim como evapotranspiração. A espessura do substrato também é um dos fatores que influenciam a eficiência do sistema (SHAFIQUE; KIM; RAFIQ, 2018).

Com relação ao consumo de energia, Hashemi, Mahmud e Ashraf, (2015), averiguou que os telhados verdes podem representar uma economia de dinheiro, se tratando da energia consumida para resfriar ou aquecer os locais onde são instalados, devido a sua eficiência no controle da variação de temperatura. Apesar de seu valor de implantação inicial ser alto, o sistema extensivo se mostra como uma opção viável, devido a seu tempo de retorno ser menor que o intensivo e, dependendo do cenário, pode representar uma potencial economia de até 50% na conta do consumo energético.

4.3 Espécies Citadas nos Estudos

A espécie de planta utilizada no sistema de telhados verdes tem grande influência no seu desempenho em todos os seus possíveis usos.

A vegetação afeta a gestão da água da chuva, pois se deve dar preferência a espécies que tenham alta capacidade de absorção de água e que tenha alta taxa de evapotranspiração, para transferir a água para a atmosfera e evitar que esta sobrecarregue os sistemas urbanos de drenagem.

Além disso, o tipo de planta escolhido também afeta o conforto térmico, visto que espécies com folhas maiores e crescimento com direcionamento mais horizontal representam um melhor sombreamento do telhado e, por consequência, temperaturas mais baixas do teto e do ambiente interno do local.

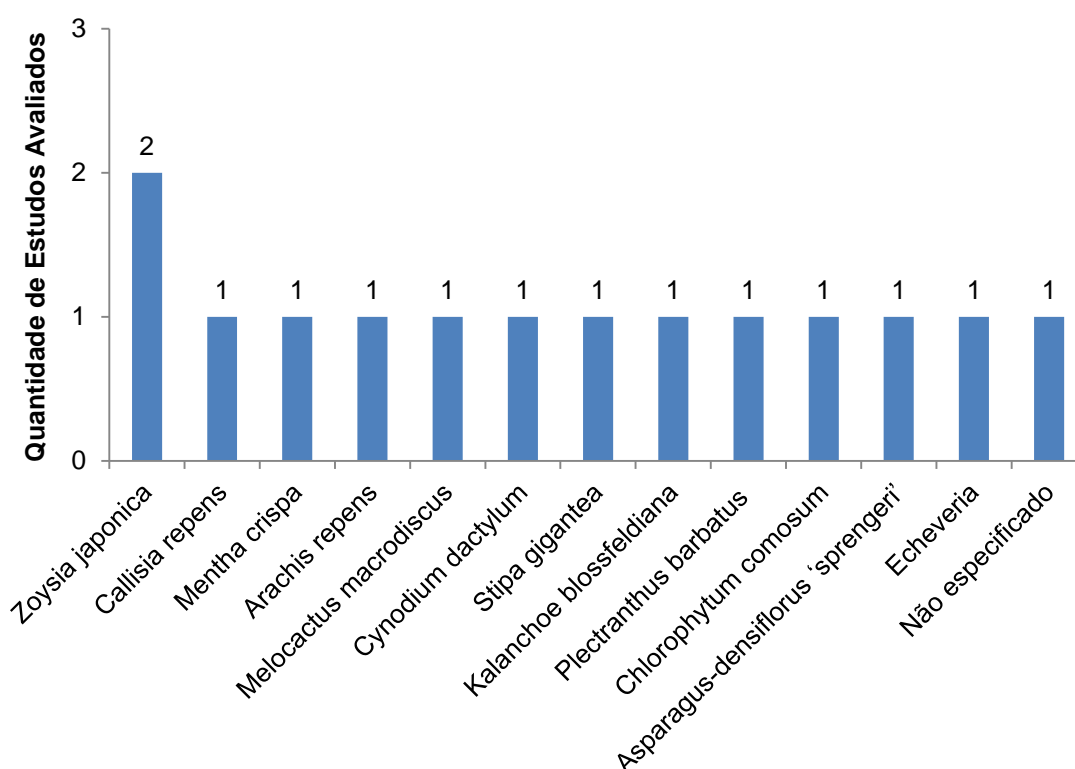
Já, para a qualidade da água, o tipo de planta escolhido influencia o tipo e a quantidade de nutrientes que será lixiviado do telhado verde, afetando a utilização da água oriunda do sistema. Deve ser dada prioridade às espécies que se adaptem ao clima do local onde são plantadas, pois desse modo a planta vai reagir com menos intensidade e absorver os poluentes com mais facilidade, como o dióxido de carbono.

Os tópicos a seguir abordam as espécies que foram utilizadas nos estudos nacionais e internacionais.

4.3.1 Espécies de plantas utilizadas nas pesquisas nacionais

A Figura 12, a seguir, mostra as espécies citadas nos artigos nacionais, destacando-se a espécie *Zoysia Japonica*, utilizada em dois estudos.

Figura 12 - Espécies utilizadas nos estudos nacionais.



Espécies Analisadas nos Estudos Nacionais

Fonte: Autora (2019)

A *Zoysia Japonica* é um tipo de grama, sendo um dos principais tipos de plantas mais recomendados nos estudos.

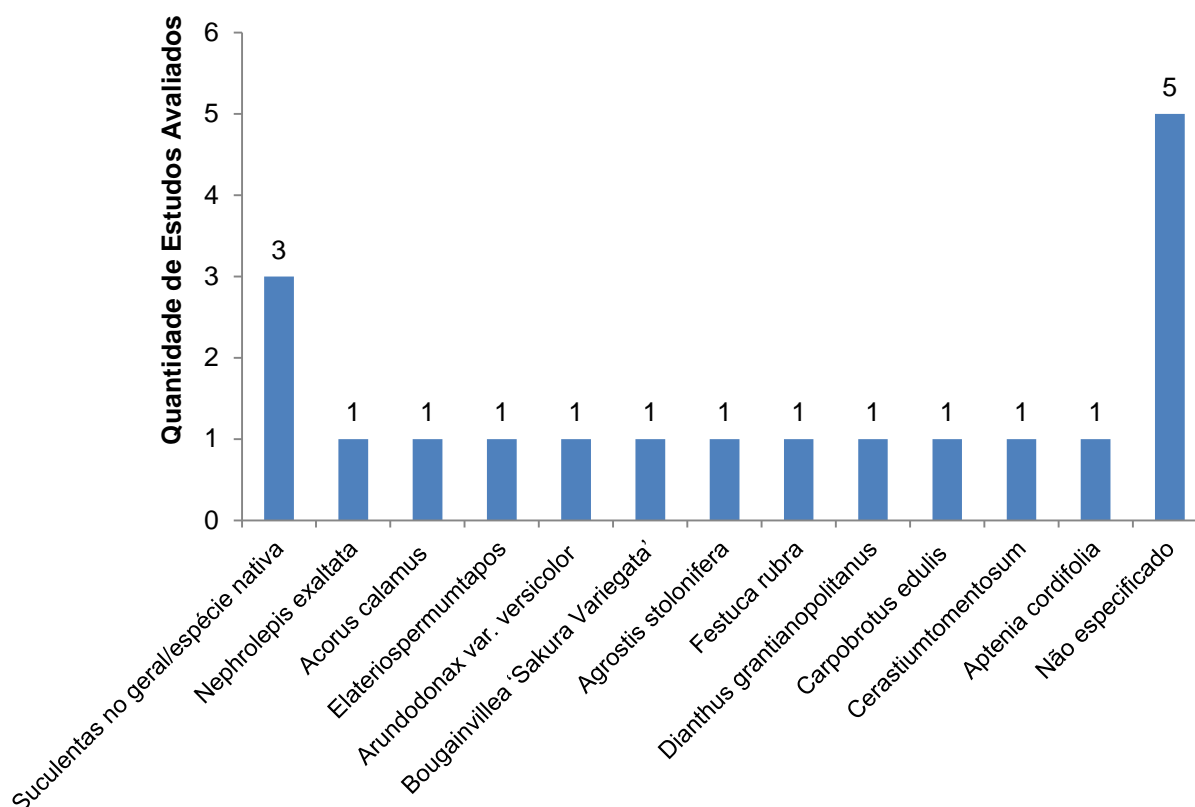
O estudo de Carneiro et al., (2015), mostrou o uso da espécie em conjunto com a *Arachis repens*, um tipo de amendoim, em um experimento onde foi comparada a temperatura de ambientes com telhados verdes usando as duas espécies e telhado de fibrocimento e telha reciclada. Os resultados mostraram que o sistema apresentou uma redução de temperatura em comparação com os telhados de fibrocimento e telha reciclada. Apesar disso, o telhado verde com a espécie de amendoim apresentou uma redução maior que o telhado com a *Zoysia Japonica*, onde houve reduções de 5,3°C e 4,4°C, respectivamente. Ainda assim, a espécie obteve um bom desempenho, visto que a diferença de temperatura não é muito considerável.

Quanto ao restante das espécies, os artigos apenas as citam como uso, mas nenhum artigo explica especificamente em seus resultados a atuação da vegetação, apenas o desempenho do sistema como um todo.

4.3.2 Espécies de plantas utilizadas nas pesquisas internacionais

As espécies citadas pelos artigos internacionais podem ser vistas na Figura 13, a seguir. Podendo destacar que uma quantidade considerável de artigos não especificou o tipo da espécie utilizada no estudo.

Figura 13 - Espécies utilizadas nos artigos internacionais.



Espécies Analisadas nos Estudos Internacionais

Fonte: Autora (2019)

Pode-se notar que o mais citado no gráfico, além dos artigos que não especificaram a espécie, foram as suculentas ou espécies nativas, o que configura um tipo de planta e não uma espécie específica. As suculentas são plantas que tem uma boa capacidade de contenção de água, além de resistir por longos períodos sem irrigação, o que justifica as sugestões dos artigos.

Além disso, o uso de espécies nativas reforça o desempenho do sistema, pois as plantas já estão adaptadas ao clima onde estão inseridas, evitando que sejam necessários gastos maiores com irrigação, fertilização ou até problemas com crescimento exagerado de raízes, que podem danificar a estrutura do telhado.

Segundo Hashemi, Mahmud e Ashraf, (2015), é recomendado o uso de plantas do tipo suculentas, pois, conforme sua revisão de literatura, os autores afirmam que esse tipo de planta apresenta melhores resultados em relação a quantidade de amônia lixiviada nas águas à jusante, em comparação com telhados convencionais sem plantas. Além disso, recomenda-se utilizar espécies variadas para diferentes configurações de telhados verdes, pois os estudos mostram que quando há uma diversidade de plantas, o nitrogênio é consumido mais eficientemente.

4.4 Viabilidade Econômica

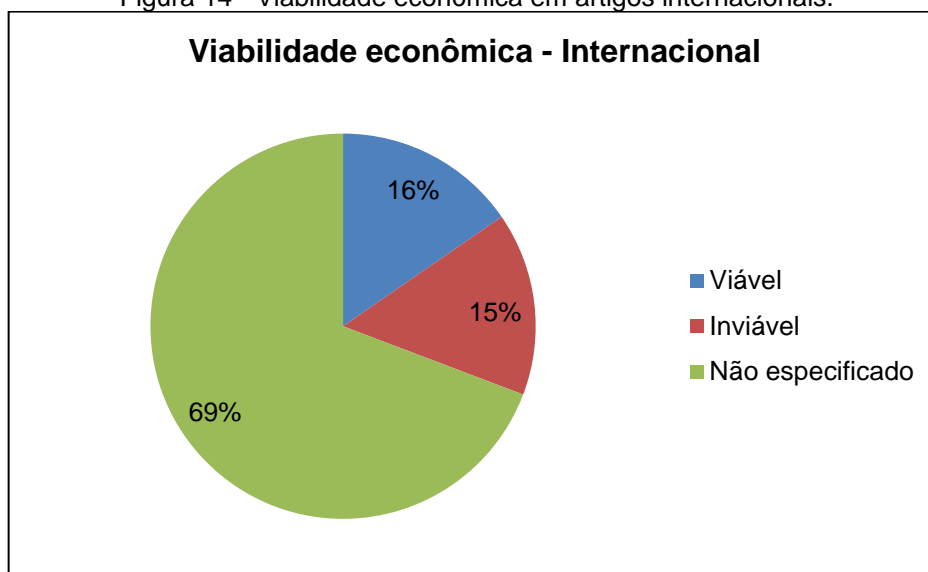
Além da qualidade da água oriunda dos telhados verdes ser uma das problemáticas desse trabalho, a viabilidade econômica do sistema também é um dos fatores que afetam a sua implantação.

O telhado verde possui um alto valor inicial de implantação, além de irrigação. Não só isso, mas é preciso que a estrutura de suporte do telhado seja projetada para a sobrecarga que o sistema vai exercer. Todos esses fatores representam gastos que podem desvencilhar a ideia de adotar a tecnologia como alternativa sustentável para mitigar os efeitos negativos da urbanização.

A maioria dos artigos utilizados nesse estudo não abordou a viabilidade econômica do sistema. Enquanto que nenhum dos estudos nacionais fez esta análise, os artigos internacionais mostraram que esse fator é uma das preocupações, pois é um dos possíveis impedimentos à implantação dos telhados verdes.

A Figura 14, a seguir, mostra a quantidade de artigos internacionais que se preocuparam sobre a viabilidade econômica do sistema.

Figura 14 - Viabilidade econômica em artigos internacionais.



Fonte: Autora (2019)

Apesar de alguns dos estudos internacionais terem abordado o tema, pode-se perceber pelo gráfico que 69% dos artigos não faz a análise e, entre os artigos que analisaram a viabilidade, metade afirma que o sistema é viável e a outra metade analisou como inviável, mas para condições específicas.

Ao ser analisada a evapotranspiração de um telhado verde que usa irrigação em um clima com chuvas escassas, Feng, Burian e Pardyjak, (2018), constatou que o custo anual com irrigação se mostrou maior que a economia devido à redução do impacto causado pela água da chuva e que o restante dos gastos com irrigação precisa ser compensado pelos outros benefícios que o sistema pode proporcionar.

No estudo feito por Sproul et al., (2014), em que é feita uma comparação econômica de diferentes tipos de telhados (pretos e brancos, que são pintados, e verdes, que usa vegetação), foi constatado que o telhado verde se torna inviável devido ao seu alto preço de implantação, onde o telhado branco se sobressaiu por ser mais econômico e apresentar um esfriamento do local três vezes maior que o telhado verde. Apesar disso, o artigo afirma que ambas as opções de sistemas são ótimas alternativas sustentáveis para promover o bem-estar local e que os telhados verdes se mostram mais efetivos quando, além do conforto térmico, a necessidade do local é contenção de água de chuva para reduzir alagamentos.

Por outro lado, o artigo de Hashemi, Mahmud e Ashraf, (2015), afirma que os telhados verdes apresentam bom custo-benefício em relação ao seu uso para

isolamento térmico, gerando um menor consumo energético e resultando em uma redução de até 50% na conta de fornecimento de energia, a depender do cenário onde o sistema é aplicado.

Com isso, pode-se afirmar que os benefícios do uso de telhados verdes compensam os seus gastos, visto que há economia no consumo de energia e nos impactos do escoamento superficial, representando uma ótima alternativa para tornar as cidades mais sustentáveis.

4.5 Importância Dada à Qualidade da Água nos Estudos

Como explicado anteriormente neste trabalho, a qualidade da água que sai dos telhados verdes é uma das problemáticas apresentadas nesse estudo.

No universo de artigos selecionados, pode-se notar que apenas quatro deles mostram preocupação com o efeito da água nos ecossistemas à jusante ou quanto a sua reutilização. Dentre esses artigos, um é nacional e o restante internacional.

O artigo nacional utilizou terra comum para jardinagem como substrato e grama (*Zoysia japonica*) como vegetação. Esse estudo feito por Teixeira et al., (2017), compara a qualidade da água telhados verdes e telhas de concreto para usos não-potáveis. Entre os parâmetros foram analisados o oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio (em forma de nitrato, nitrito e amônia), fosfato, demanda química de oxigênio (DQO), além de pH, turbidez, temperatura, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Não foi citada no estudo a análise da presença de metais pesados na água. Por fim, o artigo conclui que o telhado de concreto apresentou melhor desempenho que o telhado verde com relação aos parâmetros (menos pH, que obteve melhores resultados no telhado verde), mas que ambas as amostras dos telhados não atendem a NBR 15527/2007 para o aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Apesar disso, é dada a opção de instalar um sistema de desinfecção para que seja possível a utilização dessa água sem riscos aos usuários.

Quanto aos artigos internacionais, três do total de trezes estudos apresentaram interesse sobre a qualidade da água.

Segundo Hashemi, Mahmud e Ashraf, (2015), os telhados intensivos tem melhor desempenho em relação ao extensivo quanto à qualidade da água. Isso acontece devido a espessura maior da camada de substrato, o que permite mais tempo para os nutrientes serem absorvidos. Em sua revisão, os estudos analisam os parâmetros de algumas formas de nitrogênio, fósforo, pH e metais pesados, como chumbo, zinco, cobre, cádmio, ferro e alumínio. Por fim, ele conclui que a qualidade da água pode ser melhorada, mas depende de vários fatores, como tipo de material usado no solo do substrato, sua espessura, a vegetação escolhida, uso de fertilizantes e a frequência do uso, eventos chuvosos e fontes de poluição próximas.

Na revisão feita por Shafique, Kim e Rafiq, (2018), é explicado que solos com menos matéria orgânica em sua composição resulta em uma melhor qualidade da água. E também conclui com a informação de que a melhora da qualidade varia com o modo como o telhado verde é construído e mantido.

De todos os artigos que abordaram o tema, o artigo nacional foi o único a fazer análise experimental, enquanto que os artigos internacionais fizeram análise por meio de revisão de literatura.

É possível concluir, não só pelo número de artigos, mas também pelo modo como abordaram a temática, que não está sendo dada a devida importância à qualidade da água que sai do sistema. Apesar de o tema ter sido usado como palavra-chave na pesquisa e desta representar uma possível fonte de poluentes para os ecossistemas à jusante, o retorno de estudos não foi suficiente para embasar uma conclusão sobre o assunto. Não só isso, mas precisam ser feitos mais experimentos com diferentes tipos de substrato e vegetação a fim de achar um modelo ótimo de telhado verde que possa ser aplicado e resulte em vantagens não só no conforto térmico e redução do escoamento superficial, mas também na qualidade da água e na economia de gastos.

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado por vários estudos, é possível afirmar que os telhados verdes são uma ótima opção para reduzir os efeitos negativos do crescimento urbano acelerado.

Na revisão feita no presente trabalho, a maioria dos estudos atesta os benefícios dos telhados verdes, principalmente com relação ao conforto térmico, onde o telhado reduz a variação de temperatura dos locais onde é aplicado, causando um maior bem-estar aos usuários. Também foi amplamente recomendado para a redução do escoamento superficial, pois ao reter parte da água da chuva o sistema evita que esta sobrecarregue a rede de drenagem de águas pluviais em momento de pico de cheia. Afirmando, também, que o modo como o telhado verde é construído, desde o substrato até a vegetação escolhida, vai afetar o desempenho do mesmo.

Por outro lado, há uma escassez de estudos que analisem a viabilidade econômica do telhado, pois é um fator importante, mas pouco abordado; e a qualidade da água, já que a maioria dos artigos foi feita com base em revisões de literatura. Além da justificativa para as espécies escolhidas ser insatisfatório, pois é necessário mais detalhamento do comportamento das plantas usadas na pesquisa. É preciso ter consciência de que esses fatores são importantes e que estudos, principalmente sobre a qualidade da água, são essenciais, visto que o telhado pode representar uma fonte de poluentes ou se mostrar inviável economicamente a depender de sua localidade.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no que foi estudado, alguns pontos se mostraram insuficientes para embasar as conclusões necessárias para o estudo e, com isso, as seguintes sugestões para trabalhos futuros são apresentadas:

- Pesquisas sobre o comportamento de diferentes tipos de vegetação e como elas afetam a qualidade da água;
- Pesquisas sobre a qualidade da água dos telhados verdes ao se usar diferentes materiais filtrantes; e uso de carvão ativado para garantir um resultado mais satisfatório e possibilidade de reuso;
- Análise econômica de diferentes materiais para o substrato, para baratear a implantação do sistema, mas de modo que a qualidade da água seja garantida;
- Estudos sobre a espessura ótima do substrato, de modo que este garanta uma viabilidade econômica de implantação e que cumpra sua função de conter água da chuva e filtrar seus poluentes.

REFERÊNCIAS

- 1 BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, A.H.; GHAFARIANHOSEINI, A. **State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs**. Applied Energy, v.115, p.411–428, 2014.
- 2 BEVILACQUA, P.; MAZZEO, D.; BRUNO, R.; ARCURI, N. **Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area**. Energy and Buildings, v.122, p.63–79, 2016.
- 3 BISCEGLIE, F.; GIGANTE, E.; BERGONZONI, M. **Utilization of waste Autoclaved Aerated Concrete as lighting material in the structure of a green roof**. Construction and Building Materials, v.69, p.351–361, 2014.
- 4 BUFFAM, I.; MITCHELL, M.E.; DURTSCHKE, R.D. **Environmental drivers of seasonal variation in green roof runoff water quality**. Ecological Engineering v.91, p.506–514, feb. 2016.
- 5 CARNEIRO, T.A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; NETO, J.P.L.; LOGES, V.; SOUZA, R.F.L. **Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.11, p.1086–1092, 2015.
- 6 CHEN, P.Y.; TUNG, C.P.; LI, Y.H. **Low Impact Development Planning and Adaptation Decision-Making under Climate Change for a Community against Pluvial Flooding**. Water, 9, n.756, 2017.
- 7 CONNOP, S.; VANDERGERT, P.; EISENBERG, B.; COLLIER, M.J.; NASH, C.; CLOUGH, J.; NEWPORT, D. **Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure**. Environmental Science & Policy, v.62, p.99–111, 2016.
- 8 DEL BARRIO, E. P. **Analysis of the green roofs cooling potential in buildings**. Energy and Buildings, Vol. 27, pp. 179-193, 1998.
- 9 DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A.G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. **Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure**. Journal of Environmental Management, v.146, p.107-115, 2014.
- 10 DIZDAROGLU, D.; YIGITCANLAR, T. **A parcel-scale assessment tool to measure sustainability through urban ecosystem components: The MUSIX model**. Ecological Indicators, v.41, p.115–130, 2014.
- 11 DUNNETT N. P.; KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland (OR): Timber Press, 2004.

- 12 FENG, Y.; BURIAN, S.J.; PARDYJAK, E.R. **Observation and Estimation of Evapotranspiration from an Irrigated Green Roof in a Rain-Scarce Environment.** *Water*, 10, n.262, 2018.
- 13 FILHO, J.E.A.; MANNA, I.B.C.B.; MELO, N.A.; CAIXETA, A.C.M. **Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais.** *Soc. & Nat.*, Uberlândia, v.28, n.2, p.257-272, mai/ago, 2016.
- 14 FILHO, W.L.; ICAZA, L.E.; EMANCHE, V.O.; AL-AMIN, A.Q. **An Evidence-Based Review of Impacts, Strategies and Tools to Mitigate Urban Heat Islands.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, n.1600, 2017.
- 15 HASHEMI, S.S.G.; MAHMUD, H.B.; ASHRAF, M.A. **Performance of green roofs with respect to water quality and reduction of energy consumption in tropics: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v.52, p.669–679, 2015.
- 16 HUANG, Y.Y.; CHEN, C.T.; TSAI, Y.C. **Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate.** *Energy and Buildings*, v.129, p.174–185, 2016.
- 17 KHAN, K.S.; KUNZ, R.; KLEIJNEN, J.; ANTES, G. **Five steps to conducting a systematic review.** *Journal of the Royal Society of Medicine*, v.96, n.3, p.118–121, 2003.
- 18 LIM, H.S.; LU, X.X. **Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program.** *Journal of Hydrology*, v.538, p.842–862, 2016.
- 19 MANGONE, G. **Constructing hybrid infrastructure: Exploring the potential ecological, social, and economic benefits of integrating municipal infrastructure into constructed environments.** *Cities*, v.55, p.165–179, 2016.
- 20 MATHEUS, C.; CAETANO, F.D.N.; MORELLI, D.D.O.; LABAKI, L.C. **Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 71-81, jan./mar. 2016.
- 21 MELLO, G.B.P.; COSTA, M.D.P.; ALBERTI, M.S.; FILHO, R.D.G.F. **Estudo da implantação de um telhado verde na faculdade de Engenharia mecânica.** *Revista Ciências do Ambiente*, São Paulo, v.6, n.2, dez. 2010.
- 22 MELO, A.B.; MENDONÇA, T.N.M. **Blocos cimentícios com resíduos de EVA para telhado verde extensivo modular: contribuição dos componentes no isolamento térmico.** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v.10, n.1, p.92-121, fev. 2017.

- 23 MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J.; JEFFREY-BAILEY, T. **The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete.** Journal of Environmental Management, v.197, p.522-538, 2017.
- 24 MORUZZI, R.B.; MOURA, C.C.; BARBASSA, A.P. **Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.
- 25 NORTON, B.A.; COUTTS, A.M.; LIVESLEY, S.J.; HARRIS, R.J.; HUNTER, A.M.; WILLIAMS, N.S.G. **Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes.** Landscape and Urban Planning, v.134, p.127–138, 2015.
- 26 OMAR, A.; VIGODERIS, R.; PANDORFI, H.; MOURA, G.; GUISELINI, C. **Green Roof: Simulation Of Energy Balance Components In Recife, Pernambuco State, Brazil.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.38, n.3, p.334-342, may/jun. 2018.
- 27 PECK, S. W. **Greenbacks From Green Roofs: forging a new industry in Canada.** Peck and associates, Canadian Mortgage and Housing Corporation Research Report, 1999.
- 28 SAMPAIO, C.A.P.; TEREZO, R.F.; ROSA, T.O.; BURIGO, M.C.; ANDRADE, L.B. **Similitude And Thermal Performance On Non-Conventional Roofs.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.38, n.1, p.7-12, jan./feb. 2018.
- 29 SANGKAKOOL, T.; TECHATO, K.; ZAMAN, R.; BRUDERMANN, T. **Prospects of green roofs in urban Thailand – A multi-criteria decision analysis.** Journal of Cleaner Production, v.196, p.400-410, 2018.
- 30 SANTOS, P.T.S.; SANTOS, S.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; COUTINHO, A.P.; MOURA, G.S.S.; ANTONINO, A.C.D. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n.1, p.161-174, jan./mar. 2013.
- 31 SCHENCK, R.; BLAAUW, D.; VILJOEN, K. **Enabling Factors For The Existence Of Waste Pickers: A Systematic Review.** Social Work/Maatskaplike Werk, v.52, n.1, 2016.
- 32 SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M. **Green roof benefits, opportunities and challenges – A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.90, p.757–773, 2018.
- 33 SPROUL, J.; WAN, M.P.; MANDEL, B.H.; RESENFELD, A.H. **Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States.** Energy and Buildings, v.71, p.20–27, 2014.

- 34 TASSI, R.; TASSINARI, L.C.S.; PICCILLI, D.G.A.; PERSCH, C.G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.
- 35 TEIXEIRA, C.A.; BUDEL, M.A.; CARVALHO, K.Q.; BEZERRA, S.M.C.; GHISI, E. **Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, abr./jun. 2017.
- 36 VIEIRA, N.L.; QUEIROZ, T.M.; FAGUNDES, M.C.; DALLACORT, R. **Potential Of Utilization Of Rain Water Excess For Irrigation Of Green Roofs In Mato Grosso, Brasil.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.33, n.4, p.857-864, jul./ago. 2013.
- 37 WANG, Y.; SINGH, R.P.; FU, D.; ZHANG, J.; ZHOU, F. **Thermal Study on Extensive Green Roof Integrated Irrigation in Northwestern Arid Regions of China.** Water, 9, n.810, 2017.
- 38 YAN, W.Y.; SHAKER, A.; EL-ASHMAWY, N. **Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review.** Remote Sensing of Environment, v.158, p.295–310, 2015.