XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

Método simplificado de determinação de Índice de Área Foliar para simulação térmica de hortas urbanas em coberturas planas[1]

CUNHA, Eduardo Grala da (1); RITTER, Viviane (2); PEIL, Roberta (3); HOHN, Daniela (4); CORREA, Celina Maria Britto (5); MAIEVES, Helayne (6); ESTIMA, Mariana (7); SENA, Vitória (8); SCHULZ, Julia (9)

RESUMO

São conhecidas as vantagens ambientais das coberturas verdes sobre as edificações, dentre elas, o efeito positivo sobre a temperatura dos espaços internos. As hortas urbanas sobre as coberturas planas podem ser ainda mais interessantes, na medida em que possibilitam o cultivo de alimentos saudáveis junto à habitação. Este artigo tem como objetivo geral apresentar métodos para a definição do Índice de Área Foliar (IAF) para espécies vegetais de hortas urbanas em coberturas planas, observando o ciclo de crescimento da vegetação. O IAF é extremamente relevante na simulação térmica das coberturas verdes. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Na primeira foi definida uma edificação residencial para receber a horta urbana. A edificação foi modelada e configurada no software Energy Plus versão 8.9. Na segunda etapa do método foram definidos três cenários quanto ao IAF considerando o ciclo de crescimento da espécie vegetal alface. Na terceira etapa foram rodadas as simulações termo energéticas e os resultados analisados. Observou-se que entre o cenário que considera a média do IAF constante num ano e o cenário que observa o ciclo IAF de 30 em 30 dias houve uma diminuição de até 2,4% na Intensidade de uso de energia.

Palavras-chave: *Cobertura verde; Hortas Urbanas; Simulação termoenergética.*

ABSTRACT

The environmental advantages of green roofs are known, among them, the positive effect on the temperature of indoor spaces. Urban farms on top of flat roofs can be even more interesting, as they can provide the cultivation of healthy food close to home. This article has as general objective to present methods for the definition of the Leaf Area Index (LAI) for vegetable species of urban farms in flat roofs, observing the vegetation growth cycle. The LAI is extremely relevant in the thermal simulation of green roofs. The research was developed in three stages. In the first, a residential building was defined to receive the urban farm. The building was modeled and configured using Energy Plus software version 8.9. In the second stage of the method, three scenarios were defined as to the LAI considering the growth cycle of lettuce plants. In the third stage, thermo-energetic simulations were run, and the results analyzed. It was observed that between the scenario that considers the average LAI constant

[1] CUNHA, Eduardo Grala da; RITTER, Viviane; PEIL, Roberta; HOHN, Daniela; CORREA, Celina Maria Britto; MAIEVES, Helayne; ESTIMA, Mariana; SENA, Vitória; SCHULZ, Julia. Método simplificado de determinação de Índice de Área Foliar para simulação térmica de hortas urbanas em coberturas planas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

in a year and the scenario that observes the IAF cycle every 30 days, there was a decrease of up to 2.4% in the intensity of energy use.
***Keywords**: Green Roof; Urban Farm; Energy Modelling.*

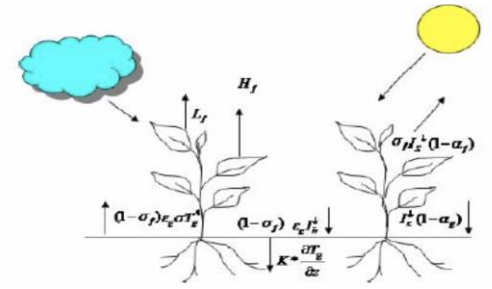
1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a importância do espaço verde nas áreas urbanas tem sido modificada: incorporam-se mais espaços verdes e um ambiente mais pensado para pessoas a elementos urbanos tradicionais (WHITTINGHILL e ROWE, 2011). A implementação desses espaços tem sido facilitada pela introdução de tecnologias mais ecológicas e de políticas e programas que incentivam sua utilização, também pelo seu uso alimentar, como no caso dos cultivos alimentares sobre áreas edificadas. Trata-se de coberturas verdes sobre as edificações, podendo ser implantadas sobre lajes ou sobre os próprios telhados de forma intensiva, extensiva ou semi-extensiva, substituindo efetivamente o espaço verde perdido durante a construção civil (SCHERER e FEDRIZZI, 2014). As vantagens das coberturas verdes são indubitavelmente numerosas e conhecidas, e vão desde o ponto de vista ecológico ao social. Cultivar plantas para fins alimentares sobre as edificações é uma alternativa de uso ao espaço da cobertura e de obtenção de alimentos no meio urbano, em consonância com o que a Segurança Alimentar e Nutricional preconiza (RECINE e VASCONCELLOS, 2011).

A vegetação sobre a cobertura do edifício tem influência também no microclima local, protegendo da radiação solar e dos ventos, interferindo na temperatura e na umidade do ambiente interno. Em espaços fechados com telhados vegetados, a temperatura do ar abaixo das plantas é menor que a do ar acima, proporcionando melhorias no desempenho térmico das edificações em períodos de calor (NIACHOU et al., 2001).

Por outro lado, a simulação computacional tem sido utilizada para analisar o comportamento termoenergético das coberturas verdes em edificações, principalmente através do software Energy Plus ™. Para tanto, o programa adota uma série de variáveis que envolvem o balanço térmico de uma cobertura verde, tais como as características da vegetação, do substrato sob a vegetação, como também da radiação solar (Figura 1 e Quadro 1).

Figura 1 – Balanço térmico de uma cobertura verde no Energy Plus



Fonte: USDOE (2019)

Quadro 1 – Legenda da Figura 1

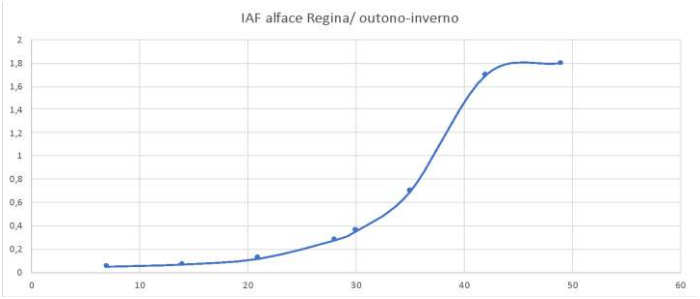
Onde:	**σ** – constante de Stefan-Boltzmann (5.699*10-8 W/m^2.K^4);
I_s – radiação solar de onda curta (W/m^2);	**T_s** – temperatura do solo;

I_{iv} – radiação solar de onda longa (W/m^2);	T_f – temperatura da vegetação;
A_f – refletância de ondas curtas da vegetação;	H_f – fluxo de calor sensível entre a vegetação e o ar;
a_s – absorbância de ondas curtas do solo;	H_s – fluxo de calor sensível entre o solo e o ar;
a_v – absorbância de ondas curtas da vegetação;	L_f – fluxo de calor latente da vegetação;
ε_f – emissividade da vegetação;	L_s – fluxo de calor latente do solo;
ε_s – emissividade do solo;	**K** – transmitância térmica do solo.

Fonte: Fernandes et al.(2018)

GAGLIANO et al. (2016), CAPOZZOLI et al. (2013), SAILOR (2008), FERNANDES et al. (2018), REBELO (2013), DIAS (2016), OLIVEIRA et al. (2015), RUIVO et al. (2017) desenvolveram pesquisas envolvendo simulação do desempenho térmico de edificações com coberturas verdes. Nesses e em outros estudos, embora variáveis como substrato e espécies vegetais tenham sido alteradas, o Índice de Área Foliar (IAF) permaneceu constante durante as simulações, ou seja, o ciclo de desenvolvimento da vegetação não foi considerado nas análises, mas sim o *Engineering Reference* (USDOE, 2019), número adimensional calculado levando em conta a metade do total da área fotossinteticamente ativa e sua área de projeção no solo. Entretanto, as espécies vegetais possuem ciclos de crescimento variáveis ao longo do ano. Como exemplo, a Figura 2 apresenta o IAF da alface, num ciclo de 49 dias no outono e inverno.

Figura 2 – Variação do IAF durante o crescimento da Alface



Fonte: Adaptado de Radin et al. (2004)

A proteção frente à radiação solar pela vegetação é uma consequência da densidade de folhas e cobertura vegetal, representadas pelo IAF. Entende-se então, fundamental que seja considerado nas simulações de desempenho térmico das coberturas verdes, nesse trabalho especificadamente, das hortas urbanas sobre cobertura plana, o ciclo de crescimento das espécies vegetais que as compõe.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do artigo é caracterizar métodos de definição de IAF para a simulação de desempenho térmico de hortas urbanas em coberturas planas.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho utilizou a simulação computacional como estratégia de pesquisa, sendo realizado em três etapas: i) modelagem e configuração da edificação escolhida

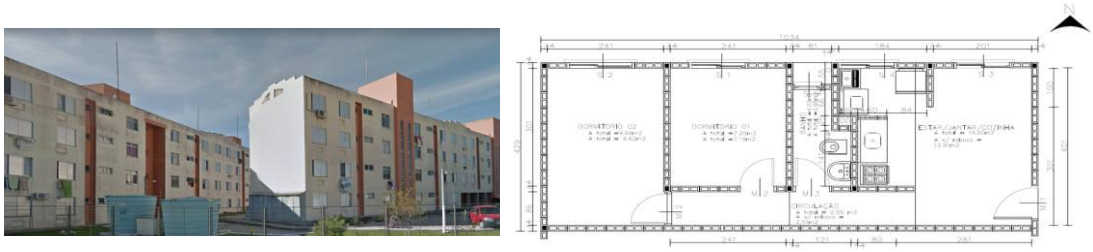
como caso base; ii) definição dos cenários de caracterização do IAF para a simulação; iii) simulação de desempenho térmico através do *software* Energy Plus versão 8.9 e análise de resultados.

Este artigo apresenta um estudo piloto que foi desenvolvido para a avaliação da etapa metodológica.

3.1 Modelagem e configuração da edificação

O caso base escolhido foi um apartamento situado num bloco residencial localizado no Condomínio Porto, na cidade de Pelotas, RS, do último pavimento, considerando-se que ao invés da edificação possuir um telhado de fibrocimento, teria uma horta urbana sobre sua laje de cobertura. As figuras 3 e 4 ilustram a imagem do conjunto residencial e a planta baixa do pavimento tipo, respectivamente.

Figuras 3 e 4 – Vista do conjunto habitacional e planta baixa do caso base



Fonte: Autores

Na modelagem do caso base, considerou-se cada compartimento como uma zona térmica. Não foram considerados sombreamentos produzidos por volumes sobre a cobertura, nesse estudo piloto, considerada desobstruída. As configurações das paredes externas, internas, cobertura e aberturas, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Configurações das paredes externas e internas

Elemento construtivo	**Espessura (cm)**	**Condutividade térmica (W/m)**	**Densidade de Massa aparente**	**Capacidade Térmica (kJ/(m².K)**	**Transmitância térmica (W/(m².K))**
Reboco	1,5	1,15	2000	144	2,01
Bloco Cerâmico	14	0,90	2000		
Reboco	1,5	1,15	2000		

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Tabela 2 – Configurações da cobertura verde – horta urbana

Elemento construtivo	**Esp. (cm)**	**Condutividade térmica (W/m)**	**Densidade de Massa aparente**	**Capacidade Térmica (kJ/(m².K)**	**Transmitância térmica (W/(m².K))**
Reboco	1,5	1,15	2000	200	1,42
Laje de concreto	8	1,75	2400		
Substrato 50% casca de arroz e 50% composto orgânico	0,15	0,20	300		
Obs: para este estudo piloto a cobertura verde foi simplificada apresentando apenas as camadas de suporte, substrato e vegetação (desconsiderou-se o sistema de impermeabilização).					

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Para efeitos de configuração das paredes, considerando-se que o *software* Energy Plus só entende camadas homogêneas, foi necessário criar uma parede equivalente com a mesma transmitância e capacidade térmica da parede real. A Tabela 3 caracteriza a parede equivalente.

Tabela 3 – Configurações da parede equivalente

Elemento construtivo	**Esp. (cm)**	**Condutividade térmica (W/m)**	**Densidade de Massa aparente**	**Capacidade Térmica (kJ/(m².K)**	**Transmitância térmica (W/(m².K))**
Reboco	1,5	1,15	2000	200	1,42
Cerâmica equivalente	7	0,90	660		
Câmara de Ar (3 cm)	R = 0,16 (m².K)/W				
Cerâmica equivalente	7	0,90	660		
Reboco	1,5	1,15	2000		

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Como configurações de uso e ocupação, foram definidas duas pessoas por dormitório, e quatro pessoas utilizando a sala, conforme o RTQ-R (INMETRO, 2012). Considerou-se os dormitórios ocupados ao longo da semana das 19h00min às 8h00min, e a sala de estar ocupada das 8h00min às 19h00min, com 50% de ocupação. Nos finais de semana os dormitórios ocupados das 22h00min às 10h00min, e sala de estar ocupada das 10h00min às 22h00min.

A densidade de carga interna de equipamentos para a sala de estar foi configurada com 1,5 W/m² para 100% do tempo, conforme o RTQ-R (INMETRO, 2012). Para a densidade de potência de iluminação, também observando-se critérios estabelecidos pelo RTQ-R (INMETRO, 2012) foi definido 5W/m² para dormitórios e 6 W/m² para salas de estar.

A edificação foi simulada condicionada artificialmente, com um sistema de expansão direta Split com COP 3,24 (Nível A – PBE Edifica) e funcionando 24 horas por dia, com *setpoints* de acordo com a NBR 16401 (ABNT, 2008), ou seja, 21,5 °C para aquecimento e 25,5 °C para refrigeração.

O arquivo climático utilizado foi o TRY desenvolvido por KARINE. et al. (2019) para o município de Pelotas, RS, Zona Bioclimática 2.

3.2 Ensaios iniciais de simulação térmica de hortas urbanas em coberturas planas

Para o estudo piloto foi escolhida a espécie vegetal alface. Na Tabela 4 são apresentados os dados da espécie, levantados a partir da literatura.

Tabela 4 – Configurações da espécie vegetal Alface

Imagem	**IAF**	**Altura das Plantas (cm)**	**Refletividade da Folha (µm)**	**Emissividade da Folha**	**Resistência Mínima Estomática (s/m)**
	2,03 (SEGOVIA, et al., 1997)	15-25	0,566 (GAUSMAN e ALLEN, 1973)	0,95 (GAGLIANO et al., 2016)	180 (GAGLIANO et al., 2016)

Fonte: Autores

O valor de IAF de 2,03 é o IAF no final do ciclo de crescimento da alface, em torno de 49 dias após iniciar o período de desenvolvimento da espécie vegetal. Neste sentido, foram simulados três cenários para testar a variação do IAF durante o período de crescimento da alface. No cenário 1 foi utilizado o valor de 2,03, caracterizando uma prática no âmbito da simulação de comportamento térmico de coberturas verdes, ou seja, um valor fixo para o ano inteiro. No cenário 2 foi utilizado 2,03 para o período de verão e primavera, e 0,36 (ciclo de 30 dias no outono e inverno), e 1,8 (ciclo de 60 dias no outono e inverno). No cenário 3 foi utilizado um valor obtido a partir da média ponderada dos valores do IAF para 6 meses de verão e primavera (2,03), e para os 6 meses de outono e inverno (0,36 e 1,8), valor esse de 1,56.

3.3 Simulação térmica e análise de resultados

A simulação térmica foi rodada para os três cenários já descritos. No cenário 1, a simulação teve como período todo um ano com um IAF = 2,03. Nos cenários 2 e 3 o ciclo de crescimento da vegetação foi considerado utilizando intervalos de 30 dias para análise do IAF. No segundo cenário foram realizadas uma simulação de janeiro a março com IAF = 2,03; em Abril IAF = 0,36; em Maio IAF = 1,8; em Junho IAF = 0,36; em Julho IAF = 1,8; em Agosto IAF = 0,36; em Setembro IAF = 1,8; e de Outubro à Dezembro IAF = 2,03. No cenário 3 foi realizada uma simulação anual, com o IAF = 1,56. O dado de saída da análise comparativa foi a Intensidade de Uso de Energia – IUE (kWh/(m².ano)).

4 SIMULAÇÃO TÉRMICA E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resultados das simulações

Os resultados das simulações apontaram que, para os três cenários elencados, houve uma diferença entre o cenário de maior e o de menor IUE de 2,4%, conforme dados apresentados na Tabela 5, que também indica os IAF simulados.

Tabela 5 – Resultados das Simulações

	IAF								**IUE**
	Jan/Fev/Mar	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out/Nov/Dez**	(kW/m².ano)
Cenário 1	2,03								49,09
Cenário 2	2,03	0,36	1,8	0,36	1,8	0,36	1,8	2,03	48,93
Cenário 3	1,56								50,12

Fonte: Autores

Os valores apresentados apontam que o maior consumo foi de 50,12 kW/(m².ano) para o cenário 3. Já a menor IUE encontrada nas simulações foi para o cenário 2, com um IAF variando conforme o ciclo de crescimento da alface, com um IUE de 48,93 kW/(m².ano).

Interpretando os fenômenos físicos que justificam os resultados, observa-se que no cenário 2, os maiores IAF no verão geram um maior sombreamento no mesmo

período, minimizando os ganhos térmicos. Por outro lado, os menores IAF no inverno proporcionam um maior ganho térmico pela cobertura. A maior proteção contra radiação solar no período quente e maior exposição no período frio proporcionou o menor consumo de climatização artificial para a edificação no Cenário 2, consequentemente, menor IUE.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostram que, embora as diferenças entre as IUE dos três cenários simulados sejam pequenas, na faixa de 2,4%, a consideração do período de crescimento das espécies vegetais nas hortas urbanas pode proporcionar diferenças mais significativas para espécies de ciclos mais longos e com maiores IAF. Neste estudo piloto foi escolhida a alface como espécie vegetal a ser analisada. Para trabalhos futuros destaca-se a simulação de diferentes cenários, como também a utilização de outras espécies vegetais que poderiam compor as hortas urbanas sobre coberturas planas. Observa-se extremamente relevante, nas simulações de desempenho térmico de hortas sobre coberturas planas, a introdução dos dados de Índice de Área Foliar (IAF) das espécies vegetais que considerem o seu ciclo de desenvolvimento, por um lado porque aproxima essa metodologia à realidade e por outro, porque evidencia de forma apurada os benefícios à qualidade do ambiente construído.

AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401:** Instalações de Ar Condicionado: Sistemas Centrais e Unitários. Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

CAPOZZOLI, A.; GORRINO, A.; CORRADO, V. Thermal characterization of green roofs through dynamic simulation. In: **13th Conference of international building performance simulation association**, Chambery, France. 2013. p. 26-28.

DIAS, A. E. **O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. 2016. 192 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FERNANDES, T. B.; RUIVO, R. B., CUNHA, E. G. DA.; KREBS, L. F. Desempenho termoenergético de coberturas vegetadas em clima subtropical. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 4, ago. 2018. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650882>. Acesso em: 17 out. 2018.

GAGLIANO, A.; NOCERA, F.; DETOMMASO, M.; EVOLA, G. Thermal behavior of an extensive green roof: numerical simulations and experimental investigations. **International Journal of Heat and Technology,** v. 34, n. 2, p. 226-234, 2016.

GAUSMAN, H. W.; ALLEN, W. A. Optical parameters of leaves of 30 plant species. **Plant Physiology**, v. 52, n. 1, p. 57-62, 1973.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia. **RTQ-R – Requisitos Técnicos para a Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. INMETRO, 2012.

NIACHOU, A.; PAPAKONSTANTINOU, K.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. Analysis of the green roof termal properties and investigation of its energy performance. **Energy Buildings**, v. 33, n.7, p.719-729, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778801000627?via%3Dihub> Acesso em: 08 mai. 2020. doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7

OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, D. F.; PEREIRA, J. B. A.; PEREIRA, V. C. Crescimento e produtividade do pimentão em dois sistemas de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n. 1, p. 78-89, jan. - mar., 2015.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.178-181, abril-junho 2004.

RECINE, E.; VASCONCELLOS, A.B. Políticas nacionais e o campo da Alimentação e Nutrição em Saúde Coletiva: cenário atual. **Ciênc. Saúde Coletiva**, v.16, n.1, p.73-79. 2011. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232011000100011&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 mai. 2020. doi.org/10.1590/S1413-81232011000100011

REBELO, C. D. A. **Análise do desempenho higrotérmico de coberturas jardim – Análise para diferentes zonas climáticas**. 2013. 104 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

RUIVO, R. B.; FERNANDES, T. B.; KREBS, L. F.; CUNHA, E. G. da. Simulação computacional e comparação entre diferentes tipologias de coberturas vegetadas de um núcleo de escritórios localizado em Pelotas-RS. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais**... Balneário Camboriú: ENCAC, 2017. p. 1435-44.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **Energy and Buildings**, 40(8), 1466–1478. 2008.

SCHERER, J. M.; FEDRIZZI, M. B. Jardins verticais: Potencialidade para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n.2, p.49-61, 2014. Disponível em: < https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/37883/23495>. Acesso em: 08 mai. 2020. http://dx.doi.org/10.5380/relainep.v2i2.37883

SEGOVIA, J. F. O.; BURIOL, J. L. A.; G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (Lactuca sativa L.) no interior e no exterior de uma estufa de Polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n.1, p. 37-41, 1997.

WHITTINGHILL, L.J.; ROWE, D.B. The role of green roof technology in urban agriculture. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.27, n.4, p.314–322, 2011. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/renewable-agriculture-and-food-systems/article/role-of-green-roof-technology-in-urban-agriculture/DBF55A3247A3270F8F790C3C8CF302C8>. Acesso em: 08 mai. 2020. doi:10.1017/S174217051100038X

USDOE - US DEPARTMENT OF ENERGY. Engineering Reference. Version 9,0. Berkley. 2019.