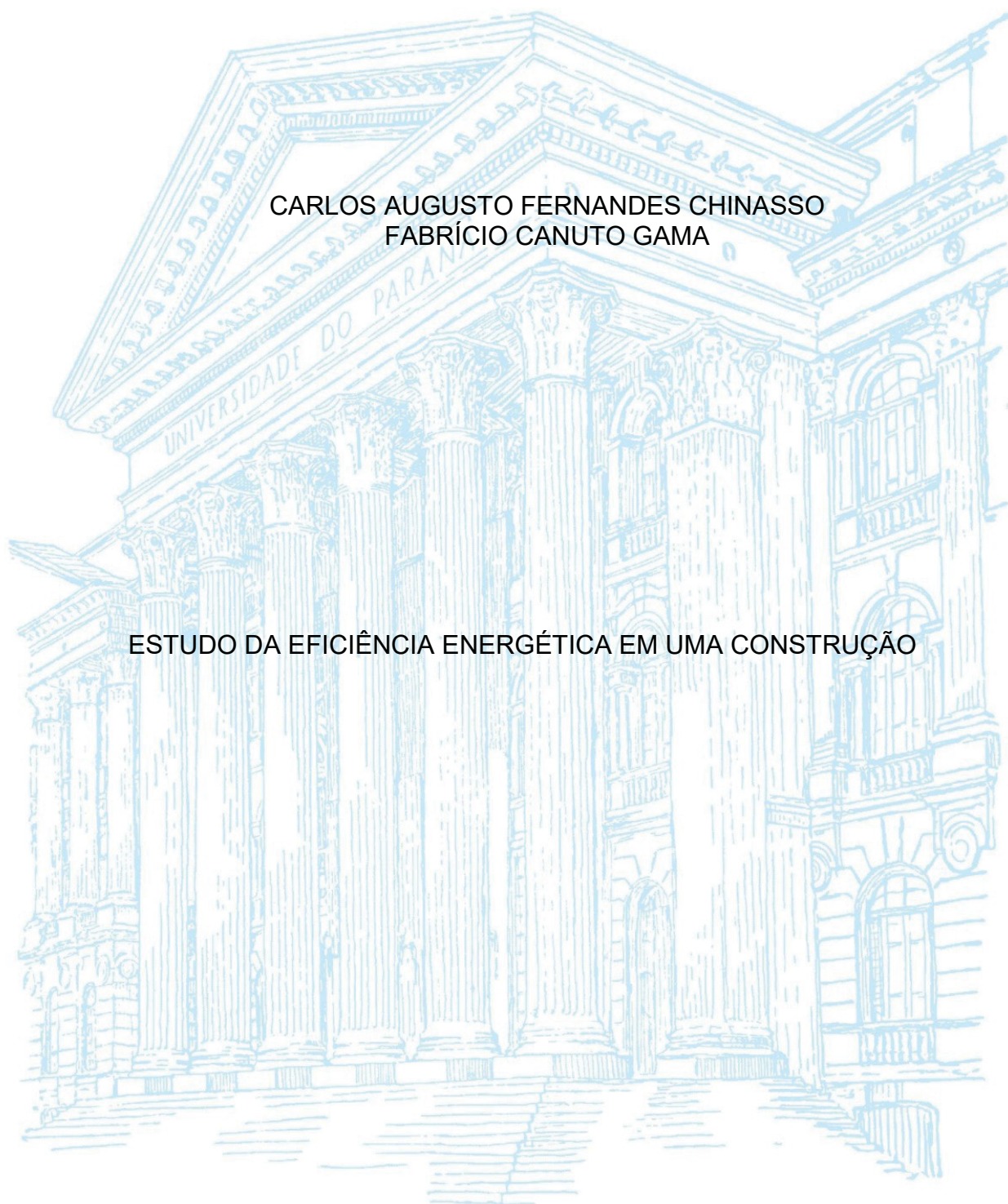


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS AUGUSTO FERNANDES CHINASSO  
FABRÍCIO CANUTO GAMA

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA CONSTRUÇÃO



CURITIBA

2020

CARLOS AUGUSTO FERNANDES CHINASSO  
FABRÍCIO CANUTO GAMA

## **ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA CONSTRUÇÃO**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA  
2020

## RESUMO

O conforto térmico deve ser cada vez mais considerado no projeto ou reforma de qualquer imóvel. A adoção de técnicas passivas para controle da temperatura ambiente, tais como parede verde, ventilação cruzada e otimização no isolamento, aliadas à adequada escolha de equipamentos mais eficientes, contribuem para o conforto térmico, redução do consumo e, conseqüentemente, da conta de energia elétrica, como para a eficiência energética e sustentabilidade da edificação. Estudo de caso aplicado ao bloco da regional de Maфра/SC do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina.

Palavras chave: Eficiência energética, edificação, reforma, parede verde, ventilação cruzada.

## **ABSTRACT**

Thermal comfort must be increasingly considered in the design or renovation of any property. The adoption of passive techniques for ambient temperature control, such as green walls, cross ventilation and insulation optimization, combined with the appropriate choice of more efficient equipment, contribute to thermal comfort, reduction of consumption and, consequently, of the electric energy bill. , as well as energy efficiency and building sustainability. Case study applied to the regional block of Mafra/SC of the Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina.

Palavras chave: Energy efficiency, building, renovation, green wall, cross ventilation.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

FIGURA1 – FACHADA DA REGIONAL DE MAFRA IMA/SC.....	9
FIGURA2 – PLANTA BAIXA DA REGIONAL DE MAFRA IMA/SC .....	10

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – VENTILAÇÃO HIGIENICA MÍNIMA.....	8
TABELA 2 – CARGA TÉRMICA DAS SALAS.....	11

# CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Revisão Bibliográfica .....	6
2.1.1. Parede ou Fachada Verde.....	6
2.1.2. Ventilação Cruzada .....	8
2.1.3. Ventilação por Efeito Chaminé .....	9
2.2. Estudo de Caso: IMA de Mafra/SC .....	9
<b>3. CONCLUSÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>12</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico deve ser considerado um componente de grande importância no projeto de qualquer imóvel. Para tanto, é pertinente a escolha do terreno, orientação das fachadas, tamanho das janelas, como também o conhecimento dos ventos predominantes e vegetação do entorno. Além do uso de aparelhos de climatização, também é possível aplicar técnicas sustentáveis e práticas para otimizar o calor no interior de imóveis já construídos, melhorando a eficiência energética, no verão reduzindo a temperatura no ambiente interno, diminuindo a necessidade de climatização, assim contribuindo para o conforto térmico, no inverno otimizando o ganho de calor reduzindo significativamente o consumo de energia elétrica e melhorando a qualidade do ambiente em diversos aspectos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Revisão Bibliográfica

#### 2.1.1. Parede ou Fachada Verde

Segundo Dunnett e Kingsbury (2004 apud SCHERER E FEDRIZZI, 2014), as paredes verdes integram a obra do homem à natureza, proporcionam ao ambiente construído equilíbrio térmico, visual e melhoria da qualidade do ar, bem como melhoria da qualidade de vida dos indivíduos que convivem com este elemento. Assim, transcendendo o conceito de que este seria apenas um recurso estético, trazendo características de sustentabilidade e unindo as esferas arquitetônicas e paisagísticas.

Em entrevista ao blog AECWEB [201?], o arquiteto e urbanista Fernando Durso Neves Caetano, mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e autor da tese que aborda a influência de muros verdes sobre o desempenho térmico de edifícios, afirma que as paredes verdes podem diminuir a temperatura interna em até 6°C em todos os pavimentos dos edifícios em dias quentes.

Segundo Sheweka e Mohamed (2012), como Rakhshandehroo et al. (2015, ambos citados por PEREIRA JÚNIOR, et al., 2018), há menor absorção de radiação solar pela parede vegetada, o que ameniza a temperatura no interior, bem como diminui o efeito ilha de calor. Conforme Sheweka e Mohamed (2012), as fachadas com vegetação podem diminuir a temperatura de 2°C a 8,4°C, refletir, no verão, 40 a 80% da radiação solar direta, reduzindo o consumo de energia elétrica em 5% a 10%. De acordo com Rakhshandehroo et al. (2015), entre 5 a 35% dessa radiação passa pelas folhas, promovendo um isolamento térmico parcial.

Conforme Eumorfopoulou e Aravantinos (1998, citados por MATHEUS et al., 2016), a transferência de calor de uma superfície vegetada é diferente de uma simples, devido à radiação solar, temperatura externa, umidade relativa e vento, os quais são amenizados pela vegetação.

Cheng, Cheung e Chu (2010, citados por MATHEUS et al., 2016) afirmaram que existe o benefício de um ambiente mais ameno com contas de eletricidade mais

baratas, devido ao atraso térmico no aumento da temperatura do ambiente promovido pela vegetação.

Em pesquisa, Matheus et al. (2016) demonstraram que um apartamento com face vegetada com trepadeira (*Parthenocissus tricuspidata*) manteve a temperatura do ambiente interno abaixo de 25 °C, enquanto que sem o vegetal atingiu a temperatura de 27 °C. A diferença de 2°C indicou que a trepadeira minimizou o calor no ambiente interno, o que também pode ser observado pela medição de temperaturas superficiais da parede com a trepadeira; onde obteve-se o valor médio de 27,9 °C para a superfície interna, e de 29,4 °C na superfície externa; enquanto que na parede diretamente exposta verificou-se a temperatura superficial interna média de 28,4 °C, e a temperatura superficial externa média de 30,5 °C. Ainda observaram que a temperatura da área externa apresentou uma variação de 15 °C a 32 °C, ao passo que no apartamento sem trepadeira a temperatura do ar obteve a variação de 18 °C a 27 °C, e o apartamento com trepadeira teve variação de 18 °C a 25 °C. Assim constataram que a trepadeira mantém as temperaturas mais baixas durante o dia, e no período noturno reduz a emissão de radiação infravermelha devido à presença da folhagem, as quais atuam como elemento de proteção contra o calor, sendo um dispositivo para o controle térmico passivo da temperatura no interior das edificações. As temperaturas superficiais da parede com a vegetação indicaram atraso térmico médio de até 2 h nos horários mais quentes do dia.

Num dia crítico de calor, Kayano, et. al. (2018) constataram que a diferença de temperatura entre as paredes norte com e sem vegetação foi de 4,5°C, assim como aconteceu com a temperatura interna do ar, onde a amplitude térmica da superfície das paredes também foi menor na célula com teto e fachada verde.

Sorte (2016) explica que o desempenho térmico da vegetação é caracterizado pela absorção de cerca de 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, que são utilizadas em suas funções fisiológicas, sendo que o restante da radiação é transmitida pelas folhas ou refletida, ou seja, há uma atenuação da radiação de onda curta, o que diminui a ocorrência dos efeitos de ofuscamento e reverberação e atenua a radiação solar incidente nas superfícies, diminuindo-se, assim, seu ganho de calor e a transmissão de radiação de onda longa para o seu entorno.

Segundo Labaki et al. (2011, citado por SORTE, 2016), em seu estudo sobre a atenuação da radiação solar pelo uso de vegetação arbórea, observou uma diminuição de 92,8% na incidência de radiação solar, causada por um Jambolão (*Coringium jambolana*), uma árvore de folhas persistentes, 70,2% por um Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) e 29,9% por um Cedro-Rosa (*Cedrea fissilis*), todos na estação de inverno e sem folhas.

Logo, Sorte (2016) conclui que a vegetação possui um desempenho térmico mais favorável ao conforto térmico do que outros materiais convencionais de revestimento, bem como que a vegetação exerce influência não apenas na edificação em que se encontra, mas também no seu entorno.

### 2.1.2. Ventilação Cruzada

A abertura em fachadas opostas possibilita a movimentação espontânea do ar dada a diferença de pressão no ambiente externo, seja pela diferença de temperatura, bem como pela orientação diversa a direção das correntes de ar.

Segundo os professores da FAUUSP, Dra. Denise H. S. Duarte, Dr. Leonardo M. Monteiro e Dra. Ranny L. X. N. Michalski, a ventilação higiênica mínima é dada pela Tab. 1.

Tabela 1. Ventilação higienica mínima

Volume de ar disponível por pessoa (m <sup>3</sup> /pessoa)	Ventilação mínima noturna (m <sup>3</sup> /h pessoa)	Ventilação mínima diurna (m <sup>3</sup> /h pessoa)
< 4	35	44
4 a 10	30	42
10 a 15	15	22
>15	11	15

Equação (1) utilizada na apuração da vazão necessária à ventilação para remoção de carga térmica.

$$\Phi_{nec} = (m^3/h) \frac{Q_{total}}{0,35 \times (\Delta t)} \quad (1)$$

$$\Phi_{nec} = \text{vazão necessária, em m}^3/\text{h}$$

$$Q_{total} = \text{carga térmica a ser removida, em W}$$

$$\Delta t = \text{diferença entre temperatura do ar interno e do ar externo, em } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \text{diferença entre temperatura do ar interno e do ar externo, em } ^\circ\text{C}$$

### 2.1.3. Ventilação por Efeito Chaminé

A previsão de aberturas nas partes mais altas da construção permite a saída do ar quente, enquanto aberturas nas partes mais baixas recebe o ar fresco de fora. A diferença de pressão se dá pela diferença de temperatura do ambiente interno e externo ao edifício.

Equação (2) aplicada no cálculo do fluxo de ar inerente à ventilação por efeito chaminé.

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot [H \cdot \Delta t]^{1/2} \quad (2)$$

$\Phi_c$  = fluxo de ar por efeito chaminé (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = área da abertura, de entrada ou de saída ( a menor ) (m<sup>2</sup>)

$H$  = altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar (m)

$\Delta t$  = diferença entre temperatura do ar interno e do ar externo, em °C

## 2.2. Estudo de Caso: IMA de Mafra/SC

Trata-se de um estudo de caso, tomando por base o bloco da regional de Mafra do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC), o qual recebe direta radiação solar, principalmente nas faces leste e norte, e possui telhado de canaletão com forro interno de PVC, transmitindo muito calor ao ambiente interno e, desta maneira, comprometendo o conforto térmico, mesmo com o uso de equipamentos de climatização, bem como podendo afetar o ritmo de trabalho dos servidores.



Figura 1. Fachada da regional de Mafra do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA/SC

Entre os diversos equipamentos, destaca-se o emprego de 34 lâmpadas LED em substituição às fluorescentes, entretanto, ainda existem 4 lâmpadas fluorescentes e 4 eletrônicas, que quando substituídas podem economizar 45,408 kWh/ano. Para climatização do ambiente há aparelhos do tipo split, sendo um da classe de consumo A, dois classe B e dois classe C, os quais consomem 74.170,8 kWh anuais.

É proposto o plantio de trepadeira para proteção da fachada norte da edificação, assim como, no mínimo, 4 mudas de espécie arbórea, sendo duas na face leste e duas para auxiliar na proteção da fachada norte, sendo indicadas as espécies:

A *Parthenocissus tricuspidata* (hera-japonesa), é uma espécie de trepadeira com folhas de tamanhos variáveis de cor verde e brilhante, as quais caem (caducifólia) no inverno, mas antes passam pelas cores avermelhadas e roxas. As folhas também produzem um efeito muito interessante (balanço ordenado) quando da passagem de uma leve brisa. É indicada para o uso na fachada verde para contribuir no controle da temperatura, pois sua folhagem bloqueia bem a radiação solar direta no verão e, no inverno, deixa passar boa parte dessa radiação, o que é conveniente para aquecimento;

A *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos, *Tabebuia alba* (Cham.) Sandwith, *Tecoma alba* (Cham), ou simplesmente o nosso ypê-amarelo, árvore símbolo do Brasil, muito utilizada na arborização urbana em diversas cidades brasileira, como em Curitiba/PR. Também é uma espécie caducifólia, deixa passar boa parte da radiação para aquecimento na estação fria, enquanto que, no verão, apresenta folhas abundantes que contribuem na amenização da exposição à radiação direta. Além da beleza de sua florada amarela na saída do inverno, suas folhas produzem um bonito efeito quando balançadas pelo vento devido a face abaxial prateada.

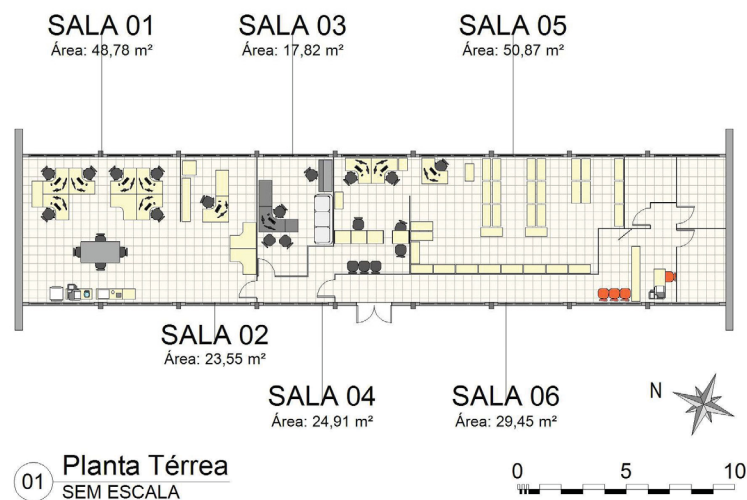


Figura 2. Planta baixa do bloco da regional de Mafra do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA/SC

No cálculo de carga térmica das salas 01 e 02 chegamos a um valor de 49.000 btu, conforme Tab. 2, onde temos instalados três aparelhos de 18.000btu, 24.000btu e 9.000btu que atendem a demanda. Na sala 03 chegamos ao valor de 11.000btu, onde temos instalado aparelho de 9.000btu subdimensionado. Para as salas 04 e 05 47.000btu onde encontramos um aparelho de 24.000btu também subdimensionado.

Tabela 2. Carga térmica das salas

	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Sala 05	Sala 06
População	6	1	1	2	1	1
W/habitante	146,5	146,5	146,5	146,5	146,5	146,5
btu	2999	500	500	1000	500	500
Área	48,78 m <sup>2</sup>	23,55 m <sup>2</sup>	17,82 m <sup>2</sup>	24,91 m <sup>2</sup>	50,87 m <sup>2</sup>	29,45 m <sup>2</sup>
btu	29266	14130	10691	14945	30519	17669
Equipamentos	7	1	1	2	1	1
W/equip	60	60	60	60	60	60
btu	1433	205	205	409	205	205
Total (btu)	34 k	15 k	11 k	16 k	31 k	18 k

Verificando as temperaturas máximas e mínimas no verão no site climatempo chegamos a conclusão que a contribuição por condução térmica nesta estação não é importante, uma vez que a região tem como temperatura máxima média dos últimos 30 anos de 25°C. Porém a radiação direta é importante onde sugerimos a colocação de brises nas janelas para promover o sombreamento reduzindo em 50% a radiação direta.

Também sugerimos a troca do forro de PVC por gesso acartonado que promove melhor isolamento, como, complementarmente, a substituição dos equipamentos de climatização classes B e C por modernos aparelhos classe A, com o devido dimensionamento, considerando as técnicas supracitadas, e adequadamente alocados.

Diante do exposto, estima-se que a aplicação de tais técnicas e a atualização dos equipamentos podem reduzir o consumo de energia elétrica em aproximadamente 20.000 kWh/ano.

### 3. CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a parede verde demonstra grande capacidade de amenização térmica, atuando como elemento estabilizador da temperatura superficial da edificação e da temperatura interna, proporcionando conforto térmico para os usuários.

O plantio da vegetação na superfície externa da parede cega da fachada norte, dimensionamento correto dos equipamentos de climatização, a substituição do forro e sombreamento das janelas. Com todas essas medidas somadas estimamos ser possível economizar 20.000 kWh/ano, fomentando a sustentabilidade almejada.

## REFERÊNCIAS

AECWEB, [201?]. Muros verdes melhoram a qualidade do ar e oferecem conforto térmico a edifícios. AECweb. [201?]. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/muros-verdes-melhoram-a-qualidade-do-ar-e-oferecem-conforto-termico-a-edificios/11781>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

CLIMATEMPO. Médias climatológicas calculadas a partir de uma série de dados de 30 anos . Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/787/mafra-sc>>. Acesso em: 05 set. 2020.

DUARTE, D. H. S.; MONTEIRO, L. M.; e MICHALSKI, R. L. X. N. Ventilação natural. FAUUSP. [201?] Disponível em: <<https://docplayer.com.br/88163424-Ventilacao-natural-profa-dra-denise-helena-silva-duarte-prof-dr-leonardo-marques-monteiro-prof-dra-ranny-l-x-nascimento-michalski.html>>. Acesso em: 05 set. 2020.

KAYANO, T. Y. K. et al. Avaliação do comportamento térmico de cobertura e fachada verde em células de testes. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 145-159, out. 2018. ISSN 2318-1109. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2814>>. Acesso em: 16 jun. 2020. doi:<https://doi.org/10.18256/2318-1109.2018.v7i1.2814>.

MATHEUS, C.; et. al. Desempenho térmico de envoltórias vegetada sem edificações no sudeste brasileiro. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 71-81, jan./mar. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v16n1/1678-8621-ac-16-01-0071.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100061>.

PEREIRA JUNIOR, A.; et al. Paredes Verdes, Urbanização, Vegetação e as Tendências de Variações da Temperatura, Umidade do Ar e Ventos. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.28; p. 1093-1108, 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/BIO/paredes%20verdes.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2020.

SCHERER, M. J.; e FEDRIZZI, B. M. . Z. Jardins Verticais: Potencialidades para o Ambiente Urbano. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, v. 2, n. 2, Jan./jun. 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/37883/23495>>. Acesso em: 04 mai. 2020.

SORTE, P. D. B. Simulação Térmica de Paredes Verdes Compostas de Vegetação Nativa do Cerrado. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21314/1/2016\\_PedroDiasBoaSorte.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21314/1/2016_PedroDiasBoaSorte.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

#### **4. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho