ESTUDO DA TORRE UNIDIRECIONAL E COBERTURA VERDE NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Nixon Cesar de Andrade (1); Kelen Almeida Dornelles (2)
(1) Engenheiro Civil, Pós-Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, deandraden@bol.com.br
(2) PhD, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, kelend@usp.br
Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Avenida Trabalhador São-Carlense 400, São Carlos–SP, 13566-590, Tel.: (16) 3373 9285

RESUMO
A utilização de captadores de vento combinada com outro sistema de resfriamento passivo como as coberturas verdes é uma alternativa para potencializar o uso da ventilação natural na edificação. O objetivo desse artigo é avaliar uma torre de vento unidirecional (uma abertura) em combinação com cobertura verde, no comportamento térmico de uma edificação, cuja ferramenta utilizada é o software EnergyPlus®. A metodologia do trabalho tem as seguintes etapas: construção da geometria dos modelos, definições do envelope, incluindo ventilação natural e simulações no software EnergyPlus®, para oito cidades brasileiras, representando cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras, durante os períodos de inverno e verão. A partir da análise dos resultados, representados pelos gráficos do dia médio, observou-se que a cobertura verde na laje da edificação reduziu a temperatura interna do ar nos dois ambientes, principalmente na Zona Bioclimática 6, representada pela cidade de Goiânia, onde houve uma redução de até 5,8°C da temperatura interna da torre em relação à externa, direcionando arquitetos e engenheiros a incorporar corretamente as torres de vento em seus projetos.

Palavras-chave: torre unidirecional, captador de vento, cobertura verde. arquitetura bioclimática, simulação computacional.

ABSTRACT
The use of wind catchers combined with another passive cooling system such as green roofs is an alternative to enhance the use of natural ventilation in the building. The objective of this article is to evaluate a unidirectional wind tower (an opening) in combination with green roof, in the thermal behavior of a building, whose tool used is the EnergyPlus® software. The methodology of the work has the following steps: construction of model geometry, envelope definitions, including natural ventilation and simulations in the EnergyPlus® software, for eight Brazilian cities, representing each of the Brazilian bioclimatic zones, during the winter and summer periods. From the analysis of the results, represented by the graphs of the average day, it was observed that the green roof on the building slab reduced the internal air temperature in both environments, mainly in the Bioclimatic Zone 6, represented by the city of Goiânia, where there was a reduction of up to 5.8 ° C in the internal temperature of the tower in relation to the external, directing architects and engineers to correctly incorporate the wind towers in their projects.

Keywords: unidirectional tower, wind catcher, green roof. bioclimatic architecture, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Uma das estratégias mais adequadas para o resfriamento passivo dos edifícios é a ventilação natural, pois a massa de ar no interior dos ambientes deve ser direcionada diretamente sobre os usuários, tornando os ambientes termicamente confortáveis.

A utilização de torres de vento, atuando como captadores de ar, é uma alternativa para potencializar o uso da ventilação natural na edificação, mas quando a velocidade do vento é baixa deve-se combinar a torre de vento com outro sistema de resfriamento passivo como as coberturas verdes.

Hosseini et al (2016) avaliaram seis projetos diferentes de captadores de vento usando o software Fluent® em condições baseadas na cidade de Yazd (Irã), no qual os resultados mostraram que variando a largura e a altura do coletor, a velocidade do ar aumentou em até 50%.

Tang e Qu (2016) estudaram o desempenho térmico de uma cobertura verde localizada na Universidade Purdue, obtendo resultados que demonstraram a perda de calor da superfície interna da cobertura em 17,9% durante todo o inverno, e, a água no solo reduz a perda de calor em cerca de 19%.

Clemente (2017) projetou um novo ambulatório para um hospital em Natal/RN, com o objetivo de promover um maior número de trocas de ar no interior dos ambientes, cujos resultados indicaram que as estratégias de ventilação cruzada aumentaram internamente o fluxo e número de trocas de ar por hora.

He et al (2017) pesquisaram os efeitos da espessura da camada do solo e o índice de área foliar no desempenho térmico de uma cobertura verde construída na Universidade de Tongji. Os resultados indicaram que a espessura do solo influi no desempenho térmico a longo prazo dessa cobertura no verão e no inverno, enquanto o índice de área foliar é apenas maior no verão.

Montazeri e Montazeri (2018) investigaram o impacto das aberturas de uma edificação com torre de vento unidirecional no fluxo da ventilação cruzada, por meio do software Fluent®. Os resultados mostraram que o captador de vento unidirecional associado à abertura posicionada na parede de sota-vento da edificação aumenta a qualidade do ar interno.

Huang, Chen e Liu (2018) estudaram termicamente uma cobertura verde com as vegetações: arbustos, ervas perenes, videiras e solo sem vegetação; em Taiwan, comparando-a com uma laje tradicional. Os resultados apontaram que as temperaturas superficiais da laje com as vegetações propostas apresentaram diferenças de até 17,75°C em relação à laje tradicional.

Seidabadi, Ghadamian e Aminy (2019) avaliaram uma edificação com torre de vento na qual foi aplicada a técnica de materiais de mudança de fase (MMF) para reduzir a diferença de temperatura, utilizando o software MATLAB®, obtendo a temperatura interna permanente de 25°C por 7 horas, concluindo que novos métodos eficientes auxiliam na redução do consumo de energia.

Almeida et al (2019) substituíram as placas de polietileno na drenagem por placas de cortiça isolante numa cobertura verde, cujas medições mostraram que houve melhora do isolamento térmico e redução dos fluxos de calor e amplitude térmica dentro do sistema.

Os resultados obtidos a partir de uma série de simulações computacionais permitiram a análise e comparação das posições propostas, auxiliando na determinação das configurações mais viáveis para o resfriamento do ar interno, proporcionando melhor condição de conforto térmico.

2. OBJETIVO

Esse artigo tem como objetivo avaliar uma torre de vento unidirecional (uma abertura), atuando como captador, em combinação com cobertura verde no comportamento térmico de uma edificação, para oito cidades brasileiras nos períodos de inverno e verão, analisando-se apenas as cidades em que ocorrem a maior e a menor diferença entre as temperaturas internas e externas à torre.

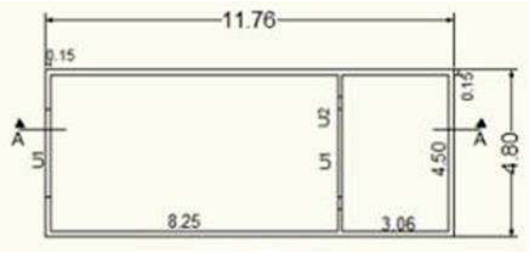
3. MÉTODO

3.1. Geometria dos modelos

Para essa pesquisa foi adotada a torre com geometria unidirecional (uma abertura) acoplada a uma edificação.

A primeira etapa da simulação foi construir a geometria no aplicativo SketchUp®, o qual possui um plugin que transfere as dimensões dos modelos, em forma de coordenadas cartesianas, para o software EnergyPlus®.

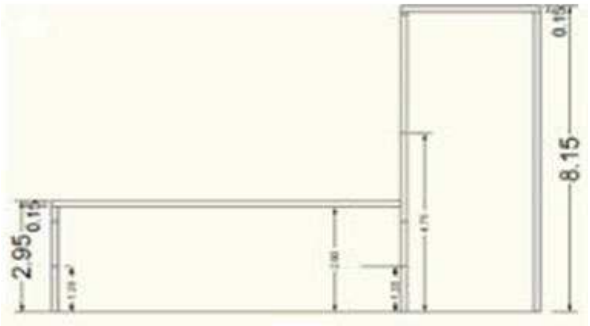
O modelo possui todos os elementos de interesse e suas características reais foram construídas com o máximo de precisão (Figura 1).



PLANTA

Abertura	U1	U2
Largura (m)	2,50	3,26
Altura (m)	1,20	3,15
Peitoril (m)	1,20	4,75
Quantidade	2	1

DIMENSÕES



CORTE AA

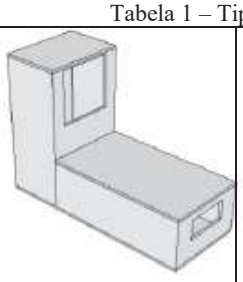
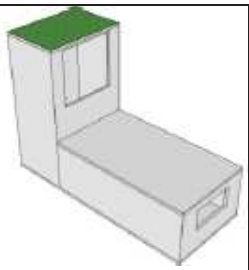
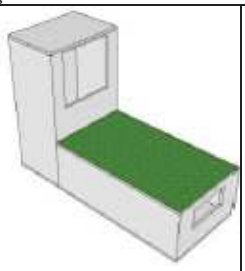
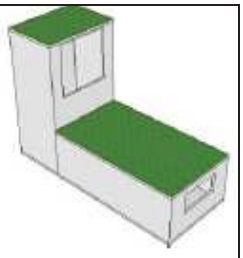
Figura 1- Esquema da edificação com a torre unidirecional

3.2. Definição dos modelos computacionais

3.2.1. Definições da envoltória

As paredes da edificação e da torre são de alvenaria constituída por tijolo cerâmico maciço (9,0cm x 5,0cm x 19,0cm), revestidas em ambas as faces com 3cm de argamassa de areia, cimento e cal, pintadas com tinta branca, totalizando 15cm de espessura, e para a cobertura foram definidas quatro tipologias distintas, aplicadas a cada torre, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos das coberturas da edificação e da torre analisada

Esquema X Casos				
	Cobertura da torre e edificação em laje de concreto pintada de branco com 15cm de espessura (C1)	Cobertura verde na torre e laje de concreto pintada de branco com 15cm de espessura na edificação (C2)	Laje de concreto pintada de branco com 15cm de espessura na torre e cobertura verde na edificação (C3)	Cobertura verde na torre e na edificação (C4)

O piso dos dois ambientes foi constituído por uma camada de concreto com 15cm de espessura, permitindo trocas térmicas entre os ambientes e o solo.

A abertura da edificação foi sempre orientada na direção Norte, pois todas as cidades simuladas encontram-se no hemisfério Sul, permitindo a circulação permanente do ar.

3.2.2. Uso e ocupação, Iluminação e Equipamentos

A edificação foi considerada sem ocupação de pessoas e energia elétrica, pois os objetos de estudo são células-teste.

3.2.3. Ventilação

A ventilação natural foi simulada utilizando-se o algoritmo AirflowNetwork® incorporado ao software EnergyPlus®, ocorrendo durante todo o dia.

3.2.4. Locais simulados

Os modelos foram simulados para 8 cidades brasileiras, uma para cada Zona Bioclimática Brasileira, de acordo com a classificação da NBR-15220 (ABNT, 2005).

O critério de escolha das cidades foi a disponibilidade de dados para simular dias típicos para inverno e verão, além da localização destas cidades, devendo contemplar todas as regiões brasileiras (Tabela 2).

Os arquivos EPW foram retirados do site da empresa Roriz Bioclimática (http://www.roriz.eng.br/epw_9.html).

Tabela 2 – Cidades selecionadas para as simulações

Cidade	Estado	Zona
São Joaquim	SC	1
Teresópolis	RJ	2
Belo Horizonte	MG	3
São Carlos	SP	4
Vitória da Conquista	BA	5
Goiânia	GO	6
Cuiabá	MT	7
Belém	PA	8

4. RESULTADOS

4.1. Caso 1

Para as cidades selecionadas percebe-se que, nesse caso, houve uma maior diferença entre as máximas temperaturas internas e externas na torre da cidade de Goiânia, chegando a 0,9°C às 11, 12 e 13 horas, sendo menor que à da edificação, a qual se aproximou de 2,0°C no mesmo horário. Isso ocorre porque o calor liberado pelas paredes, piso e cobertura da torre é menor quando comparado ao calor absorvido por meio das janelas e da ventilação, necessitando de altas trocas de ar (Figuras 2 e 3).

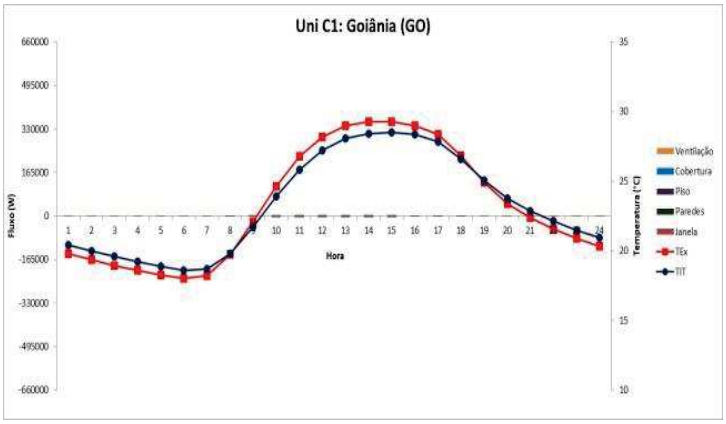


Figura 2- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de Goiânia no caso 1

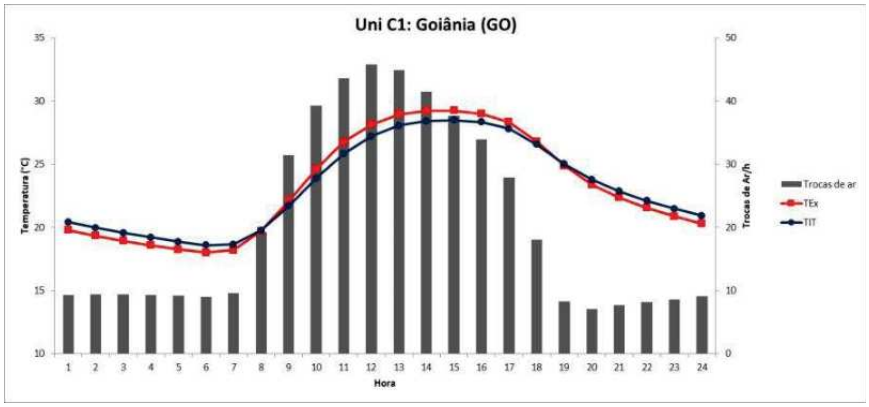


Figura 3- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de Goiânia no caso 1

Ao contrário, a menor diferença entre as máximas temperaturas internas e externas ocorreu na torre da cidade de São Joaquim, atingindo 0,5°C também às 11, 12 e 13 horas, pelos mesmos motivos relatados para a da cidade de Goiânia (Figuras 4 e 5). Entretanto, por ser uma cidade com baixas temperaturas ao longo do ano, há períodos em que é necessário o aquecimento do ambiente, sendo essa baixa liberação de calor uma contribuição a tais períodos.

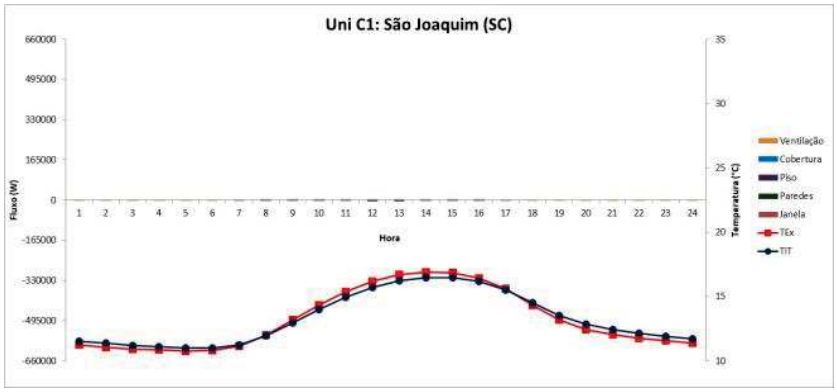


Figura 4- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de São Joaquim no caso 1

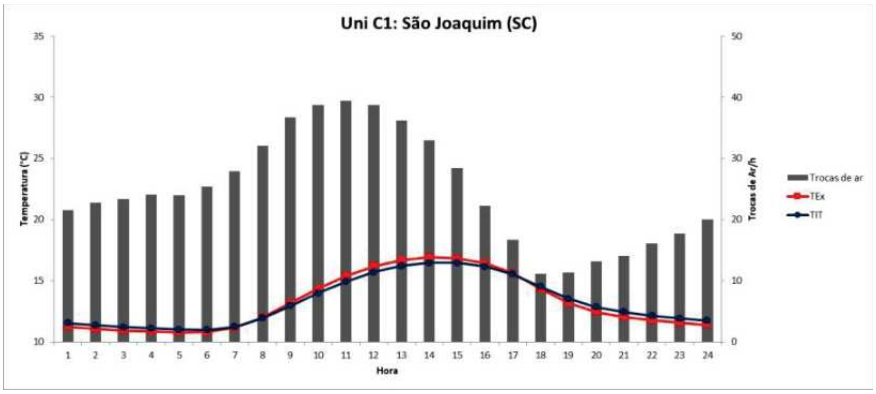


Figura 5- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de São Joaquim no caso 1

4.2. Caso 2

Nota-se que, nesse caso, a maior diferença entre as máximas temperaturas internas e externas ocorreu na cidade de Goiânia, com 0,9°C às 11, 12 e 13 horas, contrariando à da edificação que atingiu 1,9°C às 12 e 13 horas, fato explicado pelo baixo calor liberado pelas paredes, piso e cobertura, aumentando as trocas de ar. Não houve diferenças em relação ao Caso1, mesmo aumentando a inércia térmica com a presença da cobertura verde na torre, a qual não influenciou em suas temperaturas internas (Figuras 6 e 7).

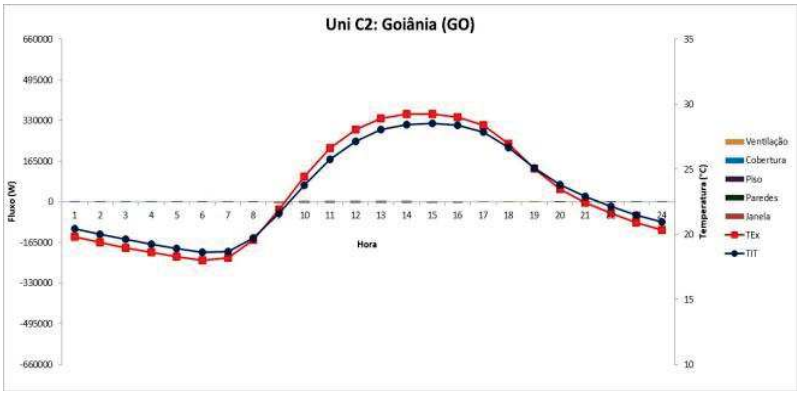


Figura 6- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de Goiânia no caso 2

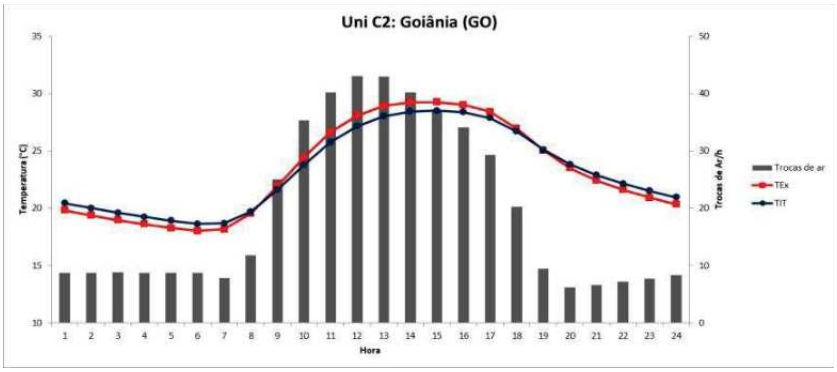


Figura 7- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de Goiânia no caso 2

Por outro lado, a cidade de São Joaquim registrou a menor diferença entre as máximas temperaturas internas e externas, sendo 0,4°c às 11, 12, 13 e 14 horas, pelas mesmas causas ocorridas na torre da cidade de Goiânia, cuja cobertura verde colabora com o aquecimento ambiental em períodos que o clima dessa cidade exige (figuras 8 e 9).

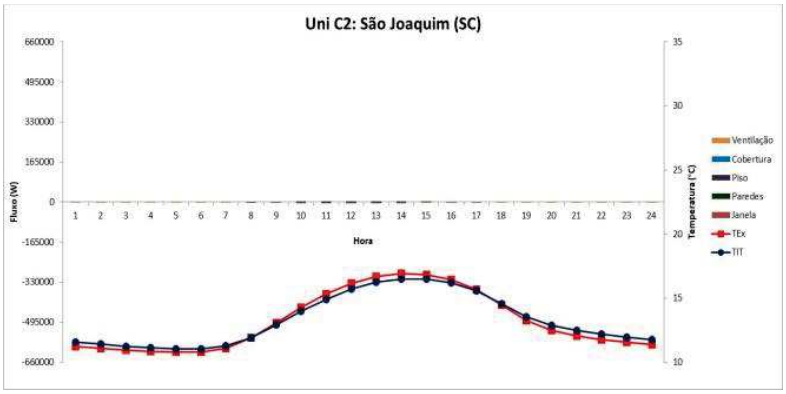


Figura 8- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de São Joaquim no caso 2

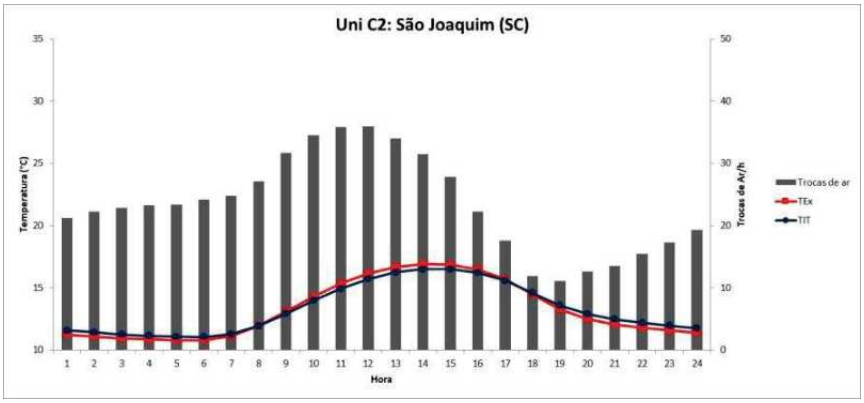


Figura 9- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de São Joaquim no caso 2

4.3. Caso 3

Observa-se que, a maior diferença entre as máximas temperaturas internas e externas, nesse caso, ocorreu também na cidade de Goiânia, sendo de 5,8°C às 12 e 13 horas, aproximando-se à da edificação que obteve 6,4°C às 14 horas, liberando calor predominantemente pelas janelas com baixas trocas de ar. Isso é consequência do crescimento da inércia térmica, ou seja, da área ocupada pela cobertura verde da edificação ser maior que a da torre, resultando num resfriamento provocado pelas trocas de ar entre os dois ambientes (Figuras 10 e 11).

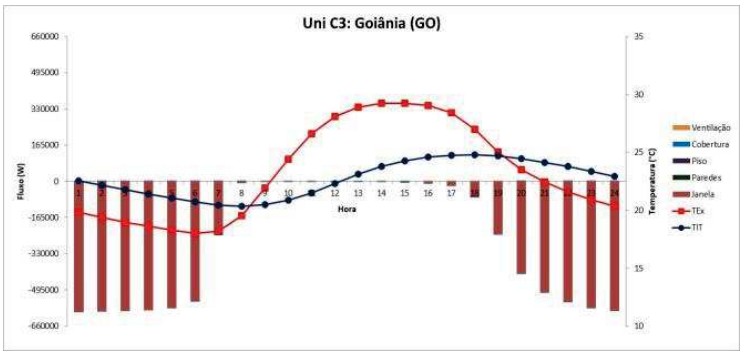


Figura 10- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de Goiânia no caso 3

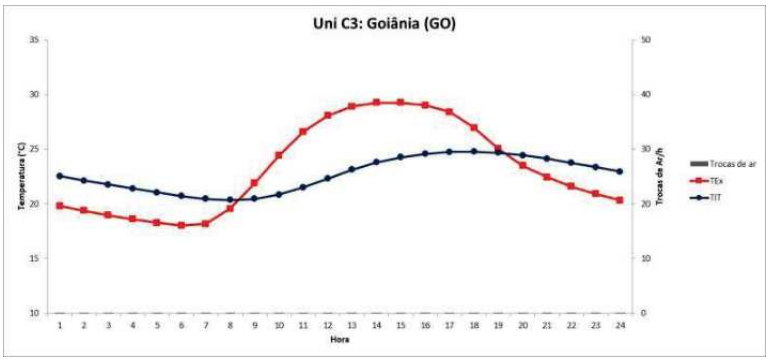


Figura 11- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de Goiânia no caso 3

Opostamente, a menor diferença entre as máximas temperaturas internas e externas foi registrada na cidade de São Joaquim, sendo de 2,7°C às 12 horas, por causas similares da torre goianiense, sendo menor que à da edificação, em razão da extensão ocupada pela cobertura verde, favorecendo o aquecimento da edificação exigido em determinados períodos do ano (Figuras 12 e 13).

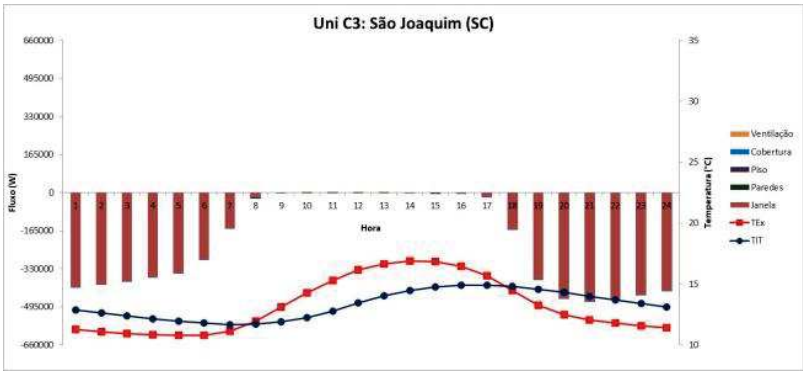


Figura 12- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de São Joaquim no caso 3

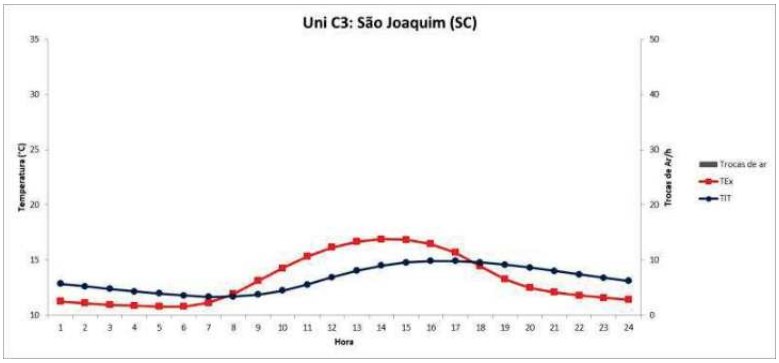


Figura 13- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de São Joaquim no caso 3

4.4. Caso 4

Semelhante ao caso 3, constata-se que a maior diferença entre as máximas temperaturas internas e externas, nesse caso, foi de 5,4°C às 13 horas na cidade de Goiânia, cujo valor aproxima-se ao da edificação que foi de 6,4°C às 14 horas, com liberação de calor principalmente pelas janelas e baixíssimas trocas de ar. Embora a inércia térmica seja elevada nas duas coberturas, esse resfriamento é resultante da área ocupada pela cobertura verde da edificação, a qual é maior que a da torre, estimulando as trocas de ar entre os dois ambientes (Figuras 14 e 15).

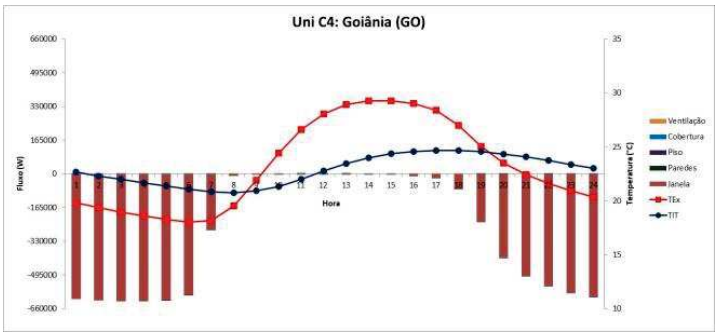


Figura 14- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de Goiânia no caso 4

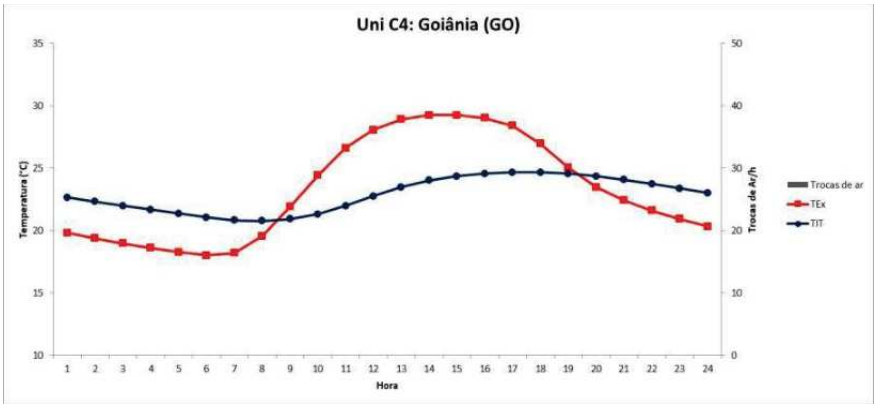


Figura 15- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de Goiânia no caso 4

Ao contrário, a cidade de São Joaquim registrou a menor diferença entre as máximas temperaturas internas e externas, sendo de 2,2°C às 12 e 13 horas, pelos mesmos motivos da edificação situada em Goiânia, apesar de liberar mais calor devido o espaço ocupado pela cobertura verde na edificação prevalecer sobre o da torre, necessitando-se aquecer a edificação em limitadas épocas anuais (Figuras 16 e 17).

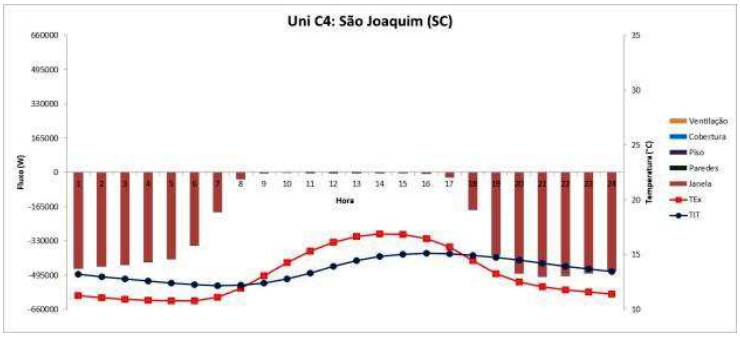


Figura 16- Dia Médio: Temperatura e Fluxo Térmico na torre da cidade de São Joaquim no caso 4

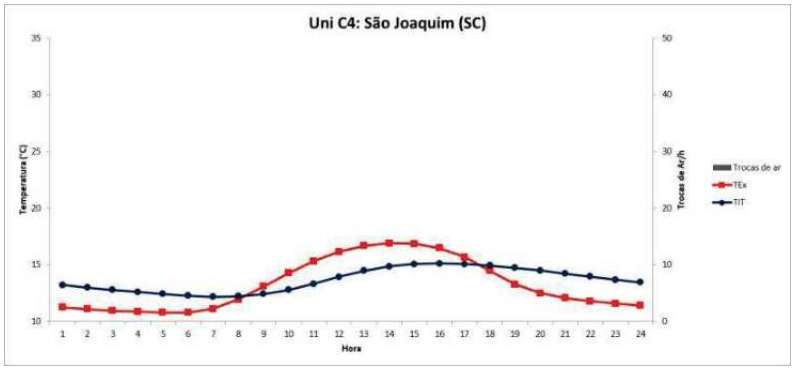


Figura 17- Dia Médio: Temperatura e Trocas de ar na torre da cidade de São Joaquim no caso 4

5. CONCLUSÕES

A torre unidirecional com cobertura verde na edificação nos casos 3 e 4 apresentou o melhor resultado, chegando a uma diferença de até 5,8°C entre as temperaturas externa e interna à torre, mostrando que a área ocupada pela cobertura verde na edificação, por ter maior inércia térmica, dificulta o aumento da temperatura interna nos dois ambientes.

Quanto às cidades, Goiânia, pertencente a Zona Bioclimática 6, apresentou as maiores diferenças entre as temperaturas externa e interna à torre para todos os casos, por ser uma cidade com altas temperaturas predominantes em todo o ano.

Opostamente, a cidade de São Joaquim, pertencente a Zona Bioclimática 1, apresentou as menores diferenças entre as temperaturas externa e interna à torre para todos os casos, em razão de possuir baixas temperaturas predominantes durante todo o ano, e nessa situação, a cobertura verde mantém a temperatura interna, aquecendo o ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, R.; SIMÕES, N.; TADEU, A.; PALHA, P.; ALMEIDA, J. Thermal behaviour of a green roof containing insulation cork board. An experimental characterization using a bioclimatic chamber. **Building and Environment**. V. 160, Art. 106179, 11p., Aug. 2019.

CLEMENTE, F.F.T. **Estratégias de ventilação natural e sua Influência na renovação do ar em uma edificação hospitalar: Anteprojeto de um novo ambulatório para o Hospital Universitário Onofre Lopes**. 2017. 161 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

HE, Y.; YU, H.; OZAKI, A.; DONG, N.; ZHENG, S. Influence of plant and soil layer on energy balance and thermal performance of green roof system. **Energy**. V. 141, p. 1285-1299, Dec. 2017.

HOSSEINI, S.H.; SHOKRY, E.; HOSSEINI, A.J.A.; AHMADI, G.; CALAUTIT, J.K. Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in Yazd City, Iran**. Energy for Sustainable Development**. V. 35, p. 7-24, Dec. 2016.

HUANG, Y.Y.; CHEN, C.T.; LIU, W.T. Thermal performance of extensive green roofs in a subtropical metropolitan área. **Energy and Buildings**. V. 159, p. 39-53, Jan. 2018.

MONTAZERI, H.; MONTAZERI, F. CFD simulation of cross-ventilation in buildings using rooftop wind-catchers: Impact of outlet openings. **Renewable Energy**. V. 118, p. 502-520, Apr. 2018.

SEIDABADI, L.; GHADAMIAN, H.; AMINY, M. A novel integration of PCM with wind-catcher skin material in order to increase heat transfer rate. **International Journal of Renewable Energy Development**. V. 8, n. 1, p. 1-6, Feb. 2019.

TANG, X.; QU, M. Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. **Energy and Buildings**. V. 121, p. 165-175, June 2016.