

Jardim vertical tipo cortina verde: efeito no sombreamento de edificações para o clima subtropical do sul do Brasil

Green curtain vertical garden: effect on building shading in the subtropical climate of southern Brazil

Minéia Johann Scherer

Arquiteta e Urbanista, Doutora pelo PROPARG-UFRGS, Docente no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM Campus Cachoeira do Sul e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo – PPGAUP UFSM. E-mail: mineia.scherer@ufsm.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5060-3924>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 13, n. 1, p. 28-49, janeiro-junho, 2024 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2024.v13i1.4697>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

O jardim vertical tipo cortina verde, caracteriza-se como uma opção para o controle solar de edificações, com uso de vegetação trepadeira que se desenvolve em frente e afastada das fachadas. A capacidade de proporcionar sombra pode repercutir no desempenho termo energético do edifício, considerando as características da vegetação e do clima. O objetivo deste artigo *é avaliar um método para quantificação da* variação anual na capacidade de sombreamento de espécies trepadeiras, determinando o Percentual de Transmissão Solar (PTS) de sua folhagem e utilizando estes dados em simulações computacionais que antevem o consumo de energia para climatização e iluminação, em um edifício modelo, no contexto do clima subtropical do Sul do Brasil. A metodologia de pesquisa dividiu-se em duas fases, sendo a primeira experimental e a segunda envolvendo simulações computacionais. Sobre o método de avaliação adotado, os resultados demonstraram sua viabilidade e aplicabilidade, passível de ser reproduzido para caracterizar a capacidade de sombreamento de outras espécies de vegetação trepadeira. Já sobre os resultados das simulações, analisando o uso da espécie *Wisteria floribunda*, constatou-se que a performance na redução do consumo de energia da edificação, especialmente para refrigeração, foi favorável quando o sistema de sombreamento adotado foi a cortina verde. Ainda, é perceptível a influência na variação do PTS da espécie avaliada nos diferentes meses do ano, adaptando-se às características do clima estudado.

Palavras-chave: Jardim vertical; Cortina verde; Vegetação; Controle solar; Simulação.

Abstract

The green curtain vertical garden is an option for solar control in buildings, using climbing vegetation that grows in front of and away from the façades. The ability to provide shade can have an impact on the building's thermal energy performance, considering the characteristics of the vegetation and the climate. The aim of this article is to evaluate a method for quantifying the annual variation in the shading capacity of climbing species, determining the Percentage of Solar Transmission (PTS) of their foliage and using this data in computer simulations that predict energy consumption for air conditioning and lighting in a model building, in the context of the subtropical climate of southern Brazil. The research methodology was divided into two phases, the first experimental and the second involving computer simulations. Regarding the evaluation method adopted, the results demonstrated its viability and applicability, which could be reproduced to characterize the shading capacity of other species of climbing vegetation. As for the results of the simulations, analyzing the use of the *Wisteria floribunda* species, it was found that the performance in reducing the building's energy consumption, especially for cooling, was favorable when the shading system adopted was the green curtain. In addition, the influence on the variation of the PTS from the species evaluated in the different months of the year is noticeable, as it adapts to the characteristics of the studied climate.

Keywords: Vertical garden; Green curtain; Vegetation; Solar control; Simulation.

1 Introdução

As cortinas verdes são um tipo de jardim vertical que se caracterizam pelo plantio e desenvolvimento de uma vegetação trepadeira, que cresce com auxílio de suportes, posicionada em frente e afastada das superfícies verticais da edificação, sejam elas fachadas com materiais de vedação opacos ou transparentes. Sua particularidade mais relevante é justamente a posição estratégica afastada das fachadas, o que permite interceptar os raios solares, atuando como dispositivo de controle solar em arquitetura.

Os diferentes tipos de jardim vertical atuam no comportamento térmico dos edifícios através de quatro mecanismos de ação: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (MUNÓZ, et al, 2019). O efeito de sombreamento e isolamento térmico ocorrem pela interceptação da radiação solar e pela camada de ar existente entre as folhas, o que reduz o aquecimento da fachada e o consequente fluxo de calor para o interior da edificação, e está ligado à densidade da cobertura vegetal e à cavidade de ar presente entre a vegetação e a parede (WONG et al, 2010; PÉREZ, et al, 2011; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018). Como barreira ao vento, a vegetação contribui para diminuir as trocas térmicas por convecção, o que é benéfico no inverno, mas pode ter um efeito negativo em dias quentes, dificultando o resfriamento convectivo da parede (SUSOROVA, 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018). Já o efeito da evapotranspiração do vegetal proporciona a redução na temperatura do ar e aumento da umidade, sendo diretamente proporcional à densidade foliar (WONG et al, 2010; SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011).

Objeto de estudo deste artigo, o efeito de sombreamento proporcionado pela cortina verde, irá depender da densidade de sua folhagem, sendo que, quando adequadamente planejada, pode repercutir de forma positiva no desempenho termo energético da edificação. Diferente dos sistemas convencionais, o uso da vegetação como proteção solar pode apresentar outros benefícios, na medida em que responde de forma dinâmica às variações do clima e das estações, é um elemento natural e de baixo impacto ambiental, além de representar mais uma possibilidade de revegetação para as cidades. Ainda, enquanto os materiais usualmente utilizados em proteções solares, como concreto, plásticos ou metais, absorvem mais calor aquecendo o ar circundante, a vegetação, ao contrário, permanece com a temperatura superficial baixa e ainda resfria o ar pelo processo de evapotranspiração.

Kwok e Grondzik (2013) complementam a atuação das cortinas verdes com uma constatação importante: a de que o uso da vegetação pode ser mais eficiente que o sombreamento realizado por elementos de proteção solar fixos. Isto porque o comportamento da folhagem - brotação ou perda das folhas, está diretamente correlacionado com a temperatura do ar e, por conseguinte, com a necessidade de refrigeração ou calefação do edifício.

Wong et al (2010) realizaram um estudo em Cingapura para avaliar a influência térmica na edificação e entorno, com uso de oito diferentes sistemas de jardim vertical. De um modo geral, todos os sistemas apresentaram temperatura superficial menor que a parede sem vegetação utilizada como parâmetro de comparação. Em outro estudo, este de simulação computacional, foram modelados diferentes sistemas de vegetação em fachadas, comparando os efeitos na temperatura e no consumo energético de um prédio. Os resultados foram favoráveis, tanto pelo sombreamento no caso das fachadas envidraçadas, quanto pela capacidade de isolamento térmico quando em contato com as paredes. Também foi constatado que este desempenho está diretamente relacionado à espessura da camada vegetal ou à sua área de cobertura foliar, o que é um indicativo importante no momento de seleção das espécies a serem utilizadas (WONG et al, 2009).

No entanto, uma das principais limitações dos estudos envolvendo a aplicação de vegetação como componente de fachada e, particularmente, enquanto elemento de controle solar, é o seu dinamismo. Por ser um elemento vivo, sofre alterações ao longo do seu crescimento, das variações sazonais e por causas adversas, seja interferência humana, mudanças climáticas ou problemas de adaptabilidade. Além disso, cada espécie de vegetal possui características diferenciadas que irão influenciar na sua capacidade de sombreamento, como por exemplo, o maior ou menor grau de fechamento da folhagem, sua velocidade de crescimento, seu porte, folhas perenes ou decíduas. Estes aspectos também sofrem variações dependendo das condições de plantio, adubação e irrigação, podendo ser intensificados ou apassivados.

Conforme comentam Hopkins e Goodwin (2011), a quantidade de sombreamento a ser fornecido também pode ser manipulada, dependendo das espécies selecionadas, do sistema utilizado para fixação e apoio da planta e da altura definida como área a ser coberta pela vegetação. As densidades podem ser pensadas desde uma camada muito leve com menos de 10% de cobertura, até um fechamento quase total, de 80% ou mais.

Desta forma, observou-se nos últimos anos um aumento significativo de pesquisas que exploram metodologias para caracterizar o potencial de sombreamento de espécies para uso em cortinas verdes, bem como sua influência no desempenho termo energético do edifício. Pela contemporaneidade do tema e indícios do crescente uso como alternativa para controle solar de edificações, entende-se como de grande relevância estudos dessa natureza, mesmo considerando as limitações impostas.

Um exemplo é o estudo conduzido por Pérez et al (2011), sobre o comportamento de cortinas verdes no clima mediterrâneo continental seco da Espanha. O experimento foi elaborado com o objetivo de comparar o crescimento de quatro diferentes espécies de vegetação trepadeira e sua capacidade de fornecer sombra. Os resultados demonstraram que o desempenho de bloqueio da radiação solar das plantas pode ser comparado aos melhores índices alcançados por barreiras artificiais, o que favorece a sua aplicação como elemento de proteção solar em fachadas. Este mesmo autor também

realizou um estudo de simulação computacional, onde verificou o consumo de energia com aquecimento e refrigeração em uma edificação modelo, quando a vegetação é aplicada como elemento de controle solar. Para o clima mediterrâneo, concluiu que o uso das cortinas verdes diminui significativamente as exigências de energia para refrigeração, na ordem de 27% a 30% em comparação às aberturas sem proteção e entre 60% e 66% quando se considera também a sobreposição das plantas nas paredes opacas. Quanto à necessidade de aquecimento, o uso da vegetação ocasionou um pequeno aumento, entre 0,8% e 1% com as cortinas verdes nas aberturas e entre 4% e 6% também considerando as paredes opacas (PÉREZ, 2010).

Na Universidade de Brighton (Reino Unido), Ip, Lam e Miller (2010) realizaram um experimento que teve como objetivo principal a elaboração de metodologia para a determinação de um coeficiente de sombreamento dinâmico, chamado “*bioshading*”, que refletisse um ciclo anual de crescimento da planta. Para tanto, foram instaladas duas cortinas verdes em salas de escritório, com a espécie *Parthenocissus quinquefolia*, sendo os dados de radiação solar coletados regularmente, em frente e atrás da vegetação. A transmitância solar chegou a 0,47 no verão, aumentando gradativamente até 0,95 no período sem folhas.

Já na Tailândia, país que vem adotando políticas de incentivo ao uso da vegetação em jardins verticais e, especialmente, na forma das cortinas verdes para sombreamento, os pesquisadores Sunakorn e Yimprayoon (2011) estudaram o uso de plantas trepadeiras como dispositivos de sombra verticais, aplicando a espécie *Thunbergia grandiflora* na fachada oeste de uma sala de aula ventilada naturalmente. O objetivo principal do experimento era comparar a temperatura interna desta sala com outra de mesmas condições, localizada ao lado, porém sem a cortina verde. Os resultados demonstraram que a temperatura interna ficou menor no ambiente com a vegetação, sobretudo durante o dia, devido ao sombreamento causado pela planta e pelo processo de evapotranspiração do vegetal.

No Japão, Koyama et al (2013) realizaram um experimento com cinco diferentes espécies de trepadeiras, a fim de verificar quais as principais características que contribuem para o efeito de resfriamento das cortinas verdes. Uma série de parâmetros foram medidos e analisados durante o experimento, como temperatura na superfície do painel e na superfície das folhas, área de cobertura foliar e transmissão solar pela folha. Os resultados identificaram a área de cobertura foliar como característica fundamental para determinar a influência na diminuição de temperatura no painel. Isto se deve principalmente à capacidade da folhagem de proporcionar sombra. Além disso, outro fator identificado que contribui para o resfriamento são os diferentes percentuais de transmissão solar pelas folhas, que depende das características genótípicas de cada espécie.

2 Objetivo

Considerando a atualidade e relevância desta temática, e o reduzido número de investigações sobre o uso das cortinas verdes no Brasil, este artigo tem por objetivos: (1) avaliar um método para quantificação da variação anual na capacidade de sombreamento de espécies trepadeiras, determinando o Percentual de Transmissão Solar (PTS) de sua folhagem e (2) utilizar estes dados em simulações computacionais que anteveem o consumo de energia para climatização e iluminação em um edifício modelo, no contexto do clima subtropical do Sul do Brasil, comparando o desempenho de diferentes sistemas de controle solar – persianas internas, *brise soleil* e cortinas verdes.

3 Materiais e método

Esta pesquisa foi realizada em duas fases, sendo a primeira experimental, com base na construção de um protótipo de campo, e a segunda envolvendo simulações computacionais termo energéticas, com auxílio do software Design Builder, versão 3.4.0.041 (2014). A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos de cada etapa.

3.1 Etapa 1: protótipo experimental

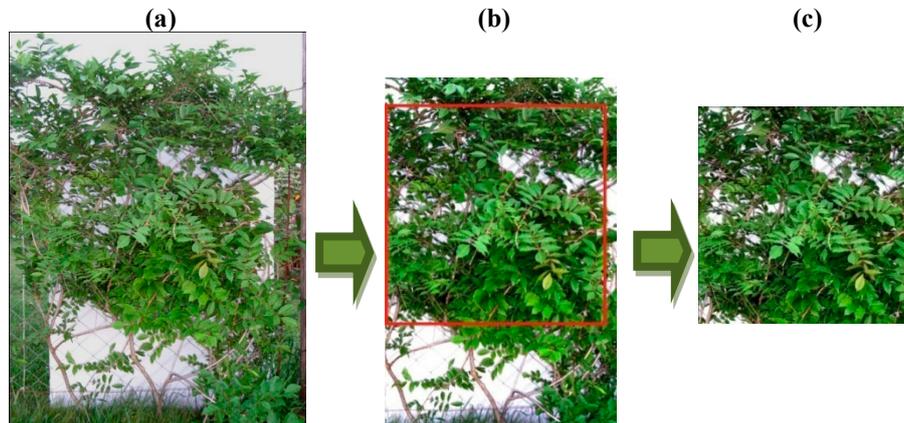
O experimento consiste na construção de um protótipo simplificado, que simula a situação de aplicação das cortinas verdes, em pequena escala. O modelo é considerado simplificado por não agregar o elemento edificação ao arranjo, ou seja, considerar somente a cortina verde, de forma isolada, sem vínculo com uma área construída específica. Assim, o protótipo foi executado em campo aberto, onde foram plantadas diferentes espécies de vegetação trepadeira adaptadas ao clima subtropical do Sul do Brasil. Neste artigo serão apresentados os resultados obtidos com a espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia), que tem folhagem decídua e resultou no melhor desempenho para o clima analisado.

O método para coleta e tratamento dos dados do experimento teve como objetivo quantificar a capacidade de sombreamento das espécies, verificando sua variação durante um ano de observação, perpassando todas as estações. Através de imagens fotográficas, determinou-se o Percentual de Transmissão Solar (PTS), por metro quadrado de vegetação, como sendo a proporção de vazios entre a folhagem que permitem a passagem direta dos raios solares. As imagens fotográficas foram tomadas na frontal e ortogonalmente ao protótipo experimental, pelo lado de incidência do sol do período da tarde (oeste). Para auxiliar no tratamento das imagens, com melhor identificação dos cheios e vazios por contraste, foi posicionado atrás da vegetação um

painel branco (Figura 1-a). A localização do painel foi definida como o mais próximo possível da vegetação, sem, no entanto, interferir na disposição dos galhos e folhas.

A partir das imagens fotográficas originais do local, foi utilizado o software Adobe Photoshop© para tratamento e compilação dos dados. Conforme o exemplo, inicialmente a imagem é recortada nas dimensões do painel (Figura 1-b) e após é delimitada a região de 1,0 m² que será analisada em cada espécie (Figura 1-c).

Figura 1. Exemplo da sequência de obtenção e tratamento das imagens



Após, inicia-se o processo de separação entre o que efetivamente é componente da vegetação e o que está vazado ou faz parte da estrutura metálica entre as folhas, sendo subtraído da imagem qualquer elemento ou região visível que não faz parte da planta, com auxílio das ferramentas “varinha mágica” e “borracha” (do software Adobe Photoshop©), como pode ser observado a seguir, na Figura 2. O fundo vermelho foi adotado para facilitar a visualização das regiões vazadas.

De posse das imagens tratadas, com a separação das regiões que compõe o objeto e o fundo, foi utilizada a ferramenta de contagem de pixels, de forma a calcular a área preenchida pela vegetação e a área vazada. Para a contagem dos pixels, inicialmente é necessário dimensionar a imagem, sendo que foi definida a ocorrência de 20 px/cm, ou seja, para a área delimitada de 1,0 m², 2000 pixels na horizontal e 2000 pixels na vertical, totalizando 4,0 x 10⁶ pixels. Após, foram selecionados todos os objetos existentes na imagem (regiões de folhagem), e realizada a contagem dos pixels, sendo que o resultado já é expresso em fração da área total. Por fim, realizou-se a seleção inversa (vazios entre as folhas) e calculou-se novamente a fração da área total, sendo esta, portanto, o Percentual de Transmissão Solar (PTS) obtido na imagem.

Este valor de PTS pode ser considerado, então, como correspondente à média de transmissão solar direta para cada metro quadrado da cortina verde que compõem uma fachada, considerando uma situação aproximadamente homogênea de distribuição desta mesma espécie, nesta condição de crescimento e época do ano. No exemplo da Figura 2, a área vazada da *Wisteria floribunda* correspondeu a 0,10 m², sendo, portanto, o Percentual de Transmissão Solar igual a: PTS = 10,0%.

Figura 2. Exemplo da subtração do fundo, na espécie *Wisteria floribunda*



3.2 Etapa 2: simulações computacionais

Para a realização das simulações computacionais, primeiramente foi definido e modelado o edifício base, com a entrada dos parâmetros necessários, como as características construtivas, os padrões de ocupação e utilização dos equipamentos. Após foram determinadas as variações no modelo base, em relação ao tamanho e orientação das aberturas e aos tipos de proteção solar. Por fim foram realizadas as simulações propriamente ditas, para cada uma das combinações pré-definidas, e a análise comparativa dos resultados de consumo de energia com os sistemas de resfriamento, aquecimento e iluminação, buscando-se uma correlação entre as variáveis envolvidas e focando no desempenho energético das cortinas verdes.

3.1 Definição e modelagem do edifício base

O edifício base foi definido com características geométricas e construtivas típicas de edifícios de escritório executados no Brasil, de acordo com a pesquisa realizada por Carlo (2008). Assim, foi modelado com cinco pavimentos, sendo um pavimento térreo e quatro pavimentos tipo (Figura 3). A planta caracteriza-se pela seguinte disposição: na parte central estão as circulações e sanitários; e nas laterais encontram-se dois escritórios de planta livre, com aberturas somente nas fachadas principais e de maior dimensão. As aberturas dos escritórios foram simuladas com proporção de 20% e 45% da área do piso, com orientação solar em duas condições: Norte-Sul e Leste-Oeste, e sem elementos de proteção solar. A Figura 4 demonstra a volumetria da edificação modelada no software Design Builder.

Figura 3. Planta baixa do pavimento tipo, sem escala

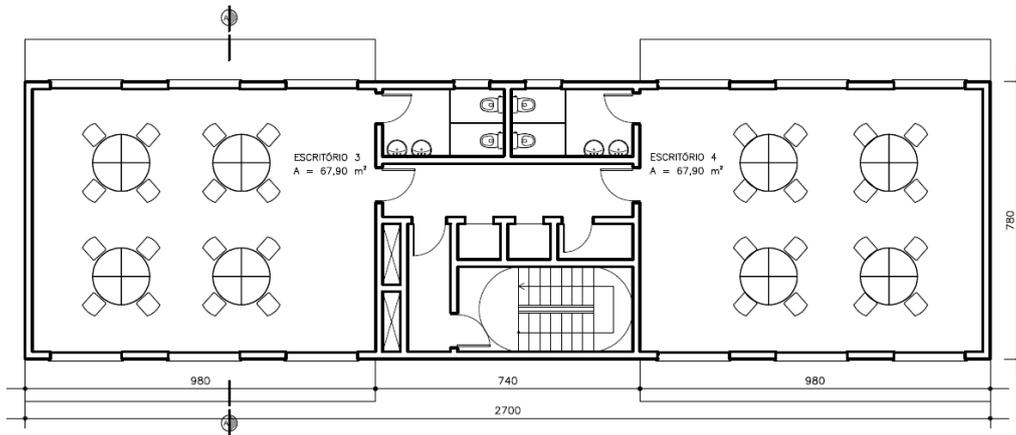
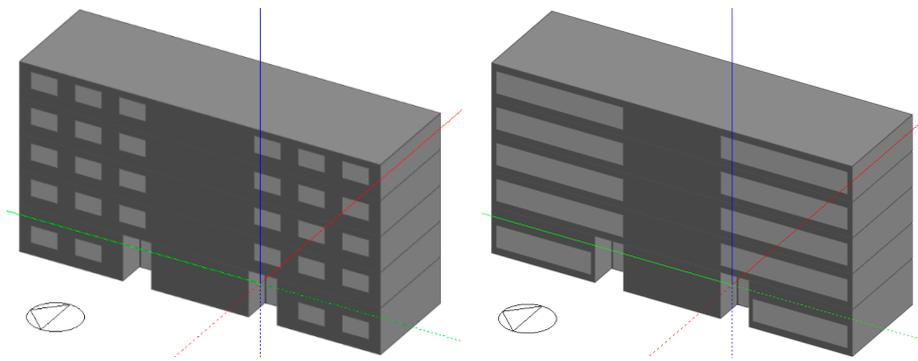


Figura 4. Modelagem da geometria, com 20% e 45% de área de aberturas



As características construtivas da edificação foram assim definidas: paredes externas e internas de alvenaria de blocos de concreto vazados, rebocada dos dois lados, transmitância térmica de $2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$, absorvância de 0,35 (Figura 5); cobertura de fibrocimento com poliestireno expandido, sobre laje de concreto, transmitância térmica de $1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, absorvância de 0,60 (Figura 6); piso e entrepisos em laje de concreto; aberturas de alumínio padrão maxi-ar, vidro transparente 4 mm, com fator solar de 0,82.

Figura 5. a) parede real; b) camadas da parede equivalente modelada no software

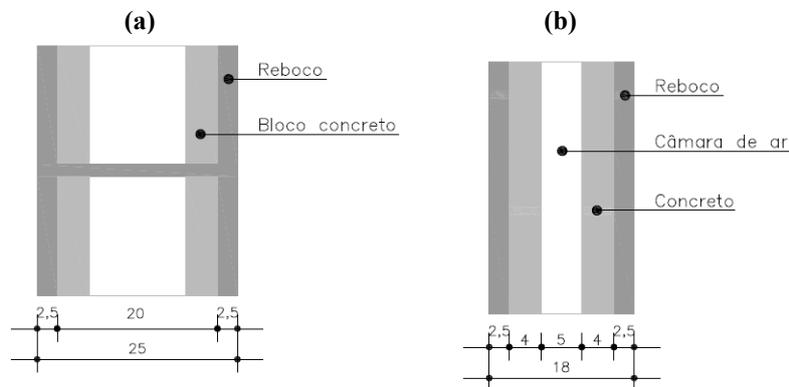
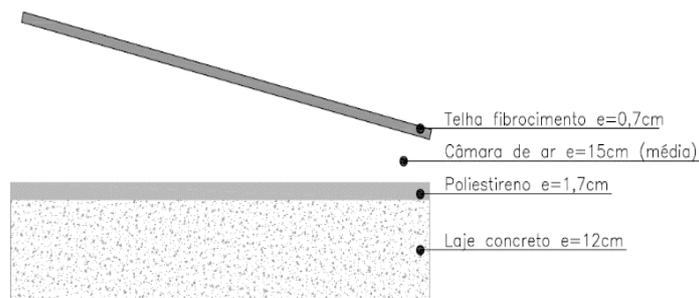


Figura 6. Camadas da cobertura modelada no *software*

A densidade de ocupação do modelo foi definida com 0,28 pessoas/m², com metabolismo de 120 W/pessoa (trabalho leve de escritório). O padrão de uso adotado foi o funcionamento diário, durante cinco dias na semana, de segunda a sexta-feira, das 8h às 18h.

Os ganhos de calor provenientes dos equipamentos e do sistema de iluminação foram considerados com um total de 20,0 W/m². Destes, 10,0 W/m² são originários dos equipamentos e 10,0 W/m² do sistema de iluminação, estimado com 500 Lux para os escritórios e 150 Lux para as circulações e sanitários. O controle do sistema de iluminação foi dimerizado, de forma que sua intensidade se ajusta automaticamente de acordo com a disponibilidade de luz natural. Já o sistema de condicionamento artificial especificado foi o de expansão direta, do tipo Split Reverso, com COP = 3,21 W/W, considerado com nível de eficiência energética “A” pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (INMETRO, 2014). A temperatura de *set point* para aquecimento foi determinada como 18° e para resfriamento 24°, ou seja, o sistema de condicionamento artificial é acionado quando as temperaturas internas se encontram abaixo ou acima desses parâmetros, consideradas temperaturas de conforto térmico.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi o da cidade de Santa Maria, que está situada na Zona Bioclimática 2, conforme classificação da NBR 15220 (ABNT, 2005), obtido da base de dados do Energy Plus (ENERGYPLUS, 2014). Esta cidade foi escolhida como representativa de uma situação intermediária para caracterizar o clima subtropical do sul do Brasil, uma vez que este abrange as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3. Por fim, a temperatura do solo foi considerada como a média das temperaturas do ar mensais da cidade simulada, segundo recomendação de Venâncio e Pedrini (2008), e obtidas diretamente do arquivo climático.

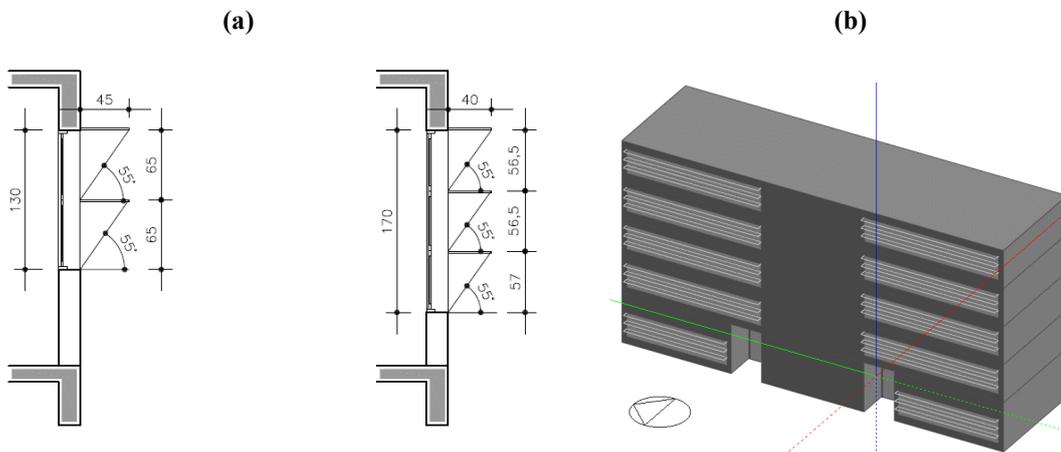
3.2 Variações no edifício base

Além da variação no tamanho e na orientação solar das aberturas, conforme já mencionado, as simulações foram realizadas com alterações no edifício base quanto ao tipo de proteção solar: com persiana interna, brise horizontal e com uso das cortinas verdes.

Na primeira variação adotou-se um sistema de sombreamento com persiana interna de alumínio, com alta refletividade. O tipo de controle adotado foi o fechamento de acordo com a incidência de radiação solar, onde ficou estabelecido que as persianas serão fechadas quando a radiação solar incidente superar o limite de 300 W/m^2 .

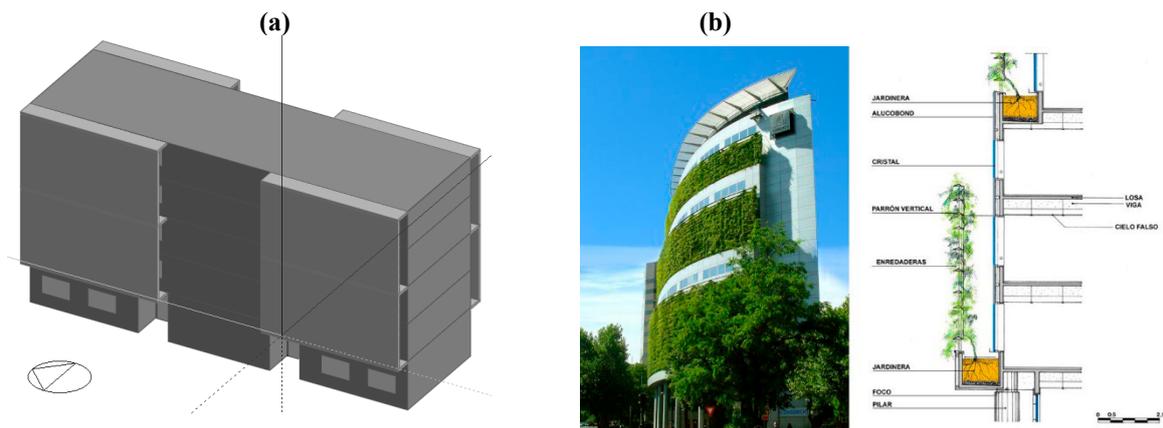
No caso dos brises, seu dimensionamento foi padronizado e levou em consideração uma situação intermediária de eficiência no sombreamento, para as diferentes orientações solares consideradas nas simulações. Assim, o elemento é composto de lâminas horizontais, resultando em um ângulo de altura solar limite de $\alpha = 55^\circ$, de modo a proporcionar sombra nos períodos mais quentes do ano (primavera e verão) e nos horários de incidência solar mais intensa (final da manhã e início da tarde). A Figura 7a apresenta o detalhamento dos brises nas duas situações de área de aberturas, enquanto a Figura 7b demonstra o resultado na modelagem do edifício.

Figura 7. a) Detalhamento dos brises horizontais propostos; b) Modelagem do edifício com brise horizontal



Já na opção com as cortinas verdes, a modelagem contou com a adição de um componente em frente às aberturas, que recebeu uma série de configurações específicas, representando as propriedades térmicas, de superfície e de transmissão solar da vegetação. A Figura 8a ilustra o resultado da modelagem no Design Builder, enquanto a Figura 8b exemplifica a aplicação das cortinas verdes no controle solar de edificações.

Figura 9. a) Modelagem do edifício com as cortinas verdes; b) Edifício Consorcio em Santiago, com aplicação das cortinas verdes no controle solar (BROWNE, 2007)



A resistência térmica adotada para caracterizar o elemento vegetal foi $R=0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, para uma espessura média de 0,12 m, segundo o medido por Susorova et al (2013). Já as propriedades da superfície do componente cortina verde foram estimadas com base nas pesquisas de Oke apud Pérez (2010), sendo adotada a emissividade igual a 0,96 e a absorvidade da folhagem de 70% para a radiação solar global e 85% para a radiação solar na faixa do visível. Completando os parâmetros necessários a serem definidos para as características da superfície, a rugosidade foi considerada alta e a coloração adotada foi um tom de verde médio-escuro.

Por fim, os valores correspondentes à transmissão solar da cortina verde precisam ser definidos. Este parâmetro caracteriza a permeabilidade do elemento à passagem da radiação solar, ou seja, sua porcentagem de transparência ou de regiões vazadas. Neste caso, os valores adotados foram os obtidos no experimento realizado na primeira fase desta pesquisa, e que serão apresentados a seguir.

4 Resultados e discussões

Inicialmente serão apresentados os resultados obtidos no experimento, para a espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia), durante um ciclo anual de observação, coleta de dados e tratamento das imagens, identificando alguns aspectos relevantes sobre seu uso em cortinas verdes no clima analisado. Após, os resultados das simulações são discutidos, comparando-se o consumo de energia total, de refrigeração, aquecimento e iluminação, para os diferentes casos simulados.

4.2 Resultados do experimento

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da espécie avaliada encontram-se a seguir, ilustradas pela Figura 9. O período de

avaliação ocorreu entre junho de 2013 a maio de 2014.

Observando a sequência de imagens, percebe-se a significativa variação na densidade de folhagem desta espécie ao longo das estações do ano. A glicínia é decídua, perdendo suas folhas justamente no período do inverno – junho até agosto, e revelando sua expressiva floração entre o final do inverno e início da primavera. A partir daí, retoma rapidamente a brotação de sua folhagem, até atingir o maior índice de fechamento no verão.

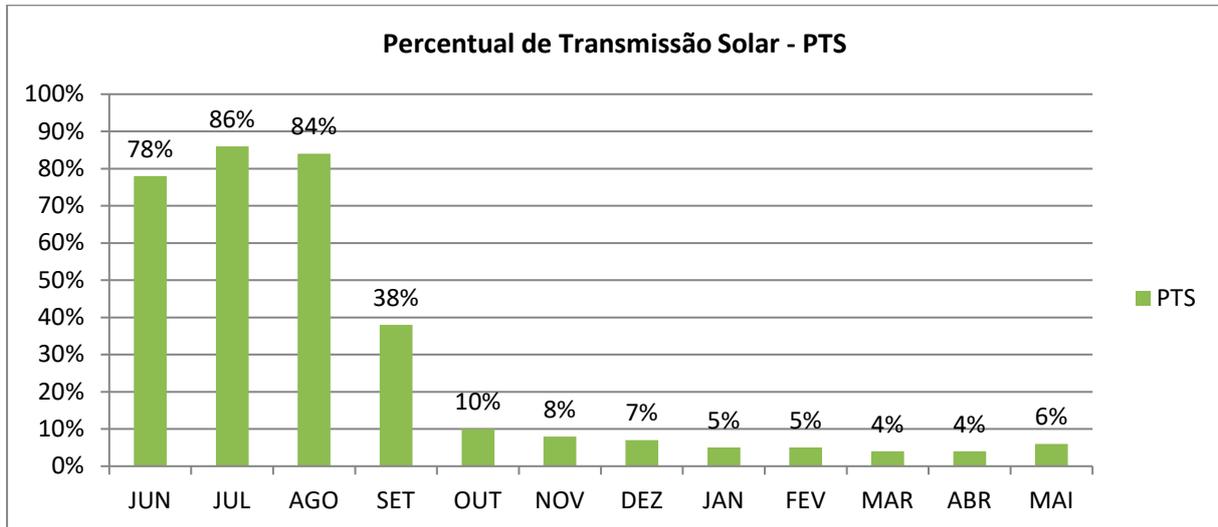
Figura 09. Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Wisteria floribunda*

			
JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
PTS = 0,78 ou 78%	PTS = 0,86 ou 86%	PTS = 0,84 ou 84%	PTS = 0,38 ou 38%
			
OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO
PTS = 0,10 ou 10%	PTS = 0,08 ou 8%	PTS = 0,07 ou 7%	PTS = 0,05 ou 5%
			
FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
PTS = 0,05 ou 5%	PTS = 0,04 ou 4%	PTS = 0,04 ou 4%	PTS = 0,06 ou 6%

O gráfico da Figura 10 expressa esses diferentes períodos através da variação do PTS. Nos meses de inverno em que as folhas caem (junho, julho e agosto), os índices de transmissão solar são maiores, ficando entre 78% e 86%. Em setembro, início

da primavera, o PTS é intermediário devido à presença da floração (38%). Já entre outubro e maio, nos períodos mais quentes do ano, os percentuais de transmissão solar ficaram abaixo de 10%, chegando até um mínimo de 4%. Isto indica um alto grau de fechamento da folhagem, com poucos vazios que permitem a passagem direta da radiação solar.

Figura 10. Gráfico do PTS da espécie *Wisteria floribunda*, calculado através das imagens, durante um ano de observação



Esta variação sazonal de bloqueio da radiação solar, demonstrado na espécie *Wisteria floribunda*, pode ser considerada um ponto positivo para sua utilização em cortinas verdes no caso do clima subtropical, onde há estação fria e quente. Devido ao seu dinamismo, o uso desta espécie como proteção solar pode representar condição favorável para o desempenho energético da edificação, tanto no verão quanto no inverno, em regiões de altitude e para o sul do país, onde o clima é mais apropriado ao seu desenvolvimento.

Na situação de verão, um maior sombreamento da fachada, principalmente das regiões envidraçadas, será desejável de maneira a reduzir a insolação direta e, por conseguinte, a carga térmica que chega ao edifício. Já no período de inverno, o acesso dos raios solares às áreas internas é útil para o aquecimento do prédio, sobretudo em edificações de uso residencial, onde os ganhos internos de calor são menores. Nestas duas condições extremas, assim como nas situações intermediárias da primavera e do outono, o uso da vegetação caducifólia na cortina verde pode auxiliar na redução do consumo de energia para resfriamento ou aquecimento da edificação.

4.2 Resultados das simulações

Os resultados das simulações realizadas para a cidade de Santa Maria, representativa do clima subtropical do sul do Brasil, encontram-se ilustrados pelos

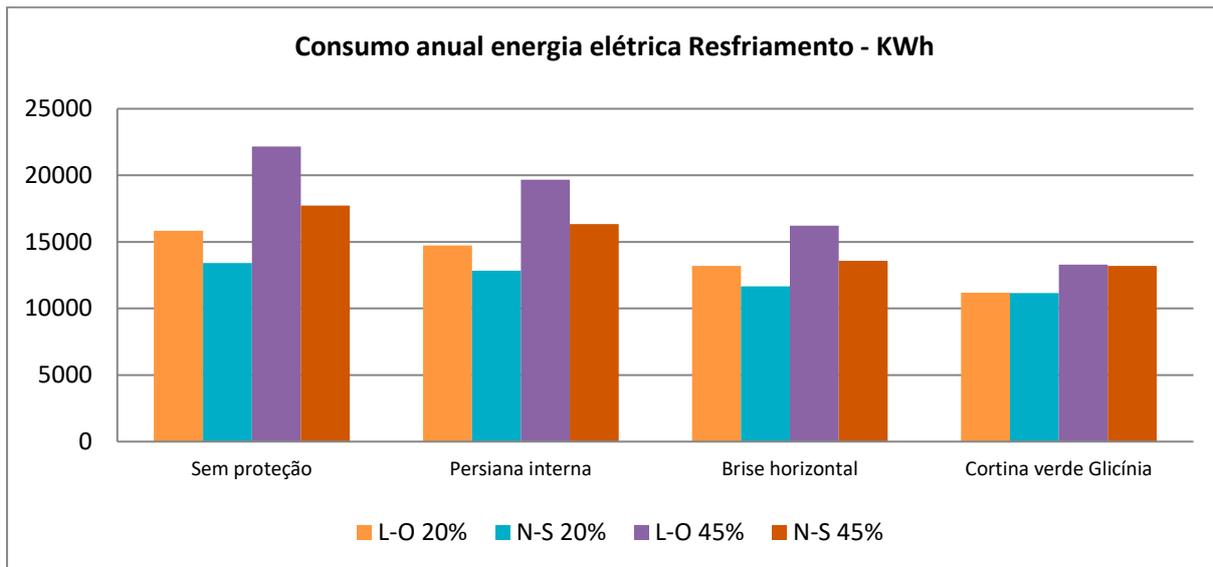
gráficos que seguem. Primeiramente, os dados de consumo anual de energia para resfriamento, aquecimento e iluminação foram expostos, considerando cada orientação solar e porcentagem das aberturas envidraçadas, para a edificação base (sem proteção solar) e com as três diferentes opções de sombreamento (Figuras 11, 12 e 13). Após, o consumo total anual é apresentado, somando-se os valores obtidos para resfriar, aquecer e iluminar a edificação (Figura 14).

Em uma análise geral, pode-se verificar que a maior porcentagem de consumo de energia elétrica decorre do uso do sistema de condicionamento artificial para resfriamento da edificação, destinado a manter a temperatura interna nas condições de conforto. Em média, a simulação apontou um gasto energético de 14.000 KWh para resfriamento; 150 KWh para aquecimento e 2.500 KWh para iluminação. O resfriamento também é mais dispendioso quando a área de abertura é maior (45%) e quando a orientação solar destas é Leste-Oeste. Isto se deve, entre outros fatores, à maior transferência de calor na área transparente do vidro, em relação às paredes opacas e, no caso das orientações Leste-Oeste, o sol incidir nas fachadas praticamente todo o dia, desde a manhã até à tarde. Ainda, a situação se agrava devido ao uso da edificação para escritórios, onde os equipamentos e iluminação também geram carga de calor interno.

Sobre o consumo para resfriamento (Figura 11), comparando a edificação sem nenhum tipo de proteção solar nas áreas envidraçadas, com as diferentes opções simuladas de sombreamento, percebe-se que os melhores resultados ocorrem com a adoção da cortina verde com a espécie Glicínia. No caso das persianas internas, a redução no consumo foi pequena, em média 8% em relação ao edifício sem proteção. Isto já era esperado, uma vez que proteções solares internas não evitam o efeito estufa, a radiação solar que as atinge já ultrapassou o vidro e aqueceu o interior do edifício, contribuindo para o aumento da carga energética interna. Os brises horizontais tiveram um melhor resultado, reduzindo em média 21% no consumo para resfriamento.

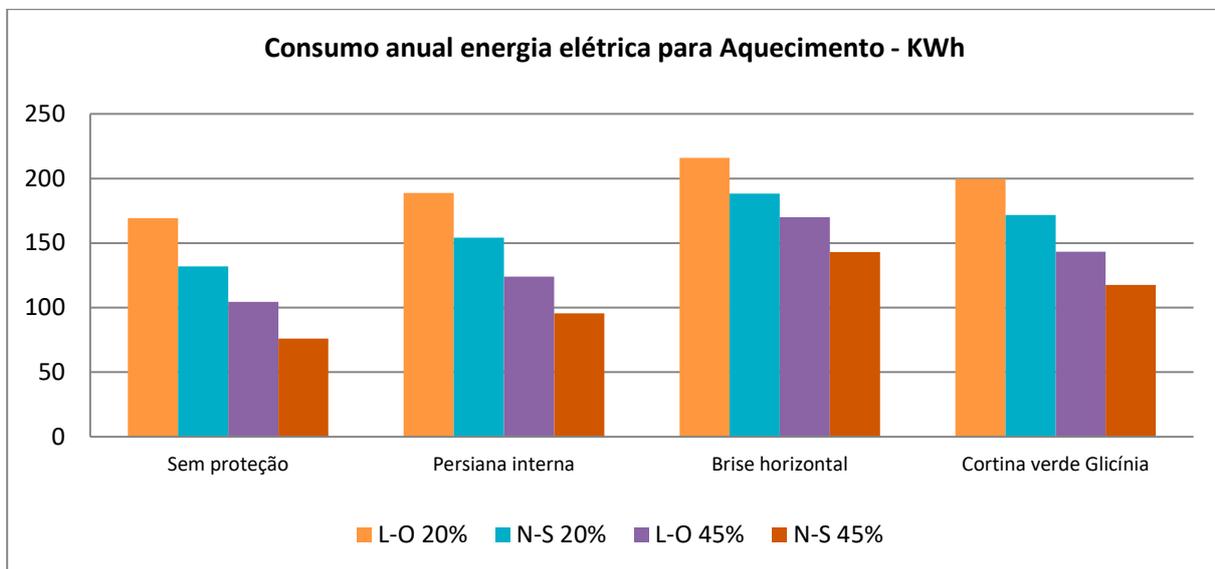
Na opção utilizando a cortina verde, analisando as médias de consumo energético para resfriamento, nas diferentes orientações solares e áreas de abertura, e comparando com o caso do edifício base, o uso da espécie Glicínia diminui o consumo em 29%. A redução proporcionalmente mais acentuada revela-se na orientação Leste-Oeste com 45% de área de aberturas, onde o uso da cortina verde repercutiu em uma diminuição no consumo para resfriamento de 40%. A situação comparativa com os brises horizontais planejados também é favorável, sendo que a cortina verde com a espécie Glicínia reduziu o consumo em média 11%.

Figura 11. Gráfico do consumo anual de energia elétrica para resfriamento



Já sobre os sistemas de sombreamento e sua repercussão na necessidade de aquecimento da edificação para manter o conforto térmico (Figura 12), a opção da cortina verde com a espécie estudada apresentou resultados semelhantes aos brises horizontais, mas ainda com pequena redução de consumo, em torno de 12%. No entanto, como já foi ressaltado, o consumo de energia para aquecimento é muito reduzido em relação ao necessário para resfriamento, não influenciando significativamente nos resultados de consumo total que serão discutidos a seguir.

Figura 12. Gráfico do consumo anual de energia elétrica para aquecimento

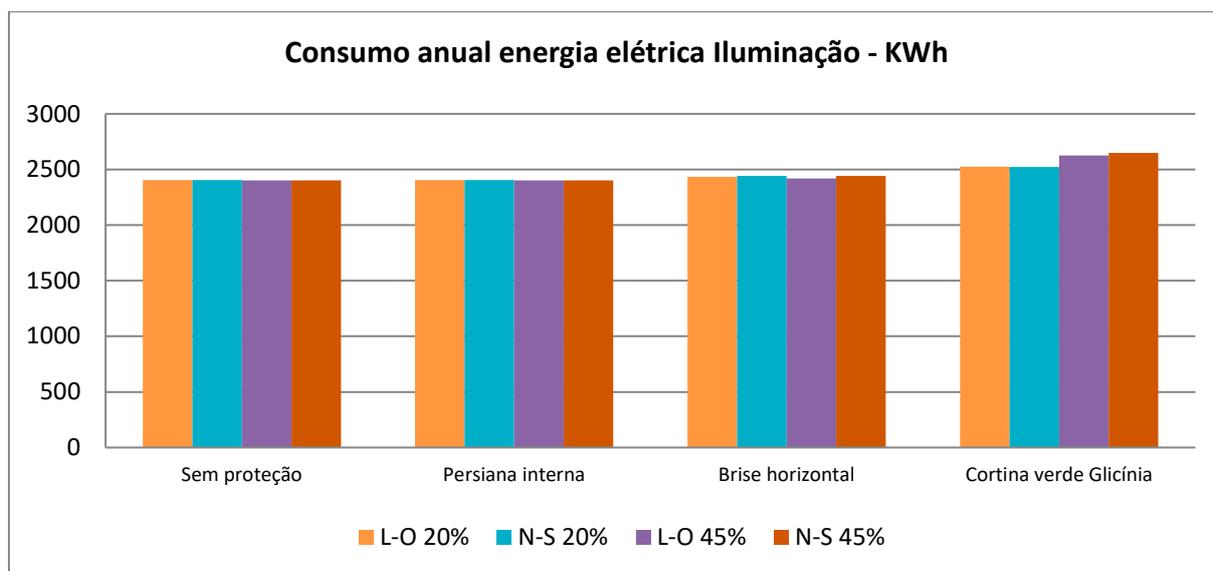


Os gastos com iluminação artificial, retratados no gráfico da Figura 13, resultaram em valores semelhantes nas diferentes opções de sombreamento. No caso da cortina verde, houve um pequeno acréscimo de consumo, em média 7% nas diferentes orientações solares e área das aberturas. Este resultado é decorrência dos meses de maior grau de fechamento da folhagem da espécie Glicínia, de outubro a maio, o que

acaba obstruindo parte da passagem de luz natural para o interior do prédio.

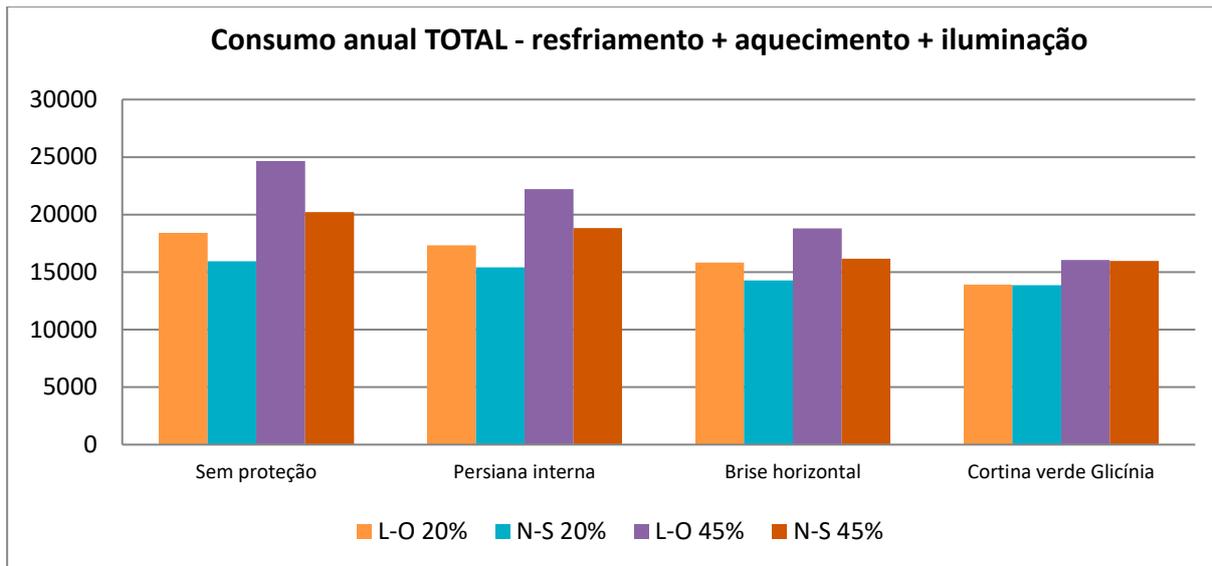
Vale lembrar que o sistema de iluminação foi configurado com dimerização, de forma que se ajustasse automaticamente às variações de luminosidade natural vindas do exterior. Por este motivo, é esperado que o uso da cortina verde quando a vegetação está mais densa, causando mais sombreamento, influencie na maior necessidade de utilização da iluminação artificial, como foi constatado. No entanto, como veremos a seguir, em um balanço de consumo total de energia considerando os três sistemas analisados, a cortina verde aparece com um desempenho positivo, representando uma opção que auxilia na redução do consumo global de energia para a edificação estudada.

Figura 13. Gráfico do consumo anual de energia elétrica para iluminação



O gráfico da Figura 14 representa os resultados de consumo total de energia elétrica, considerando a soma do necessário para aquecer, resfriar e iluminar a edificação simulada. Podemos verificar que o desempenho da cortina verde se destacou, reduzindo em média 25% no consumo total, em comparação com o edifício sem proteções solares. Ainda, na orientação Leste-Oeste com 45% de área de aberturas, esta redução chegou a 35% com o uso da espécie Glicínia. Quando a comparação se relaciona ao uso dos brises horizontais, o consumo médio foi 8% menor com a cortina verde.

Figura 14. Gráfico do consumo anual total de energia elétrica



Considerando que os resultados mais expressivos estão sendo destinados ao sistema de refrigeração, também foram analisados os dados de consumo de energia em cada mês do ano. Esta avaliação é de grande importância, especialmente para as regiões com estação fria e quente, como é o caso do clima subtropical, e se considerarmos a variação na capacidade de sombreamento das cortinas verdes ao longo do ano, investigadas no experimento. Assim, os dados coletados mês a mês foram inseridos nas configurações do programa, possibilitando uma análise mais criteriosa sobre a relevância e consequência da variação do PTS da vegetação para a eficiência energética do edifício.

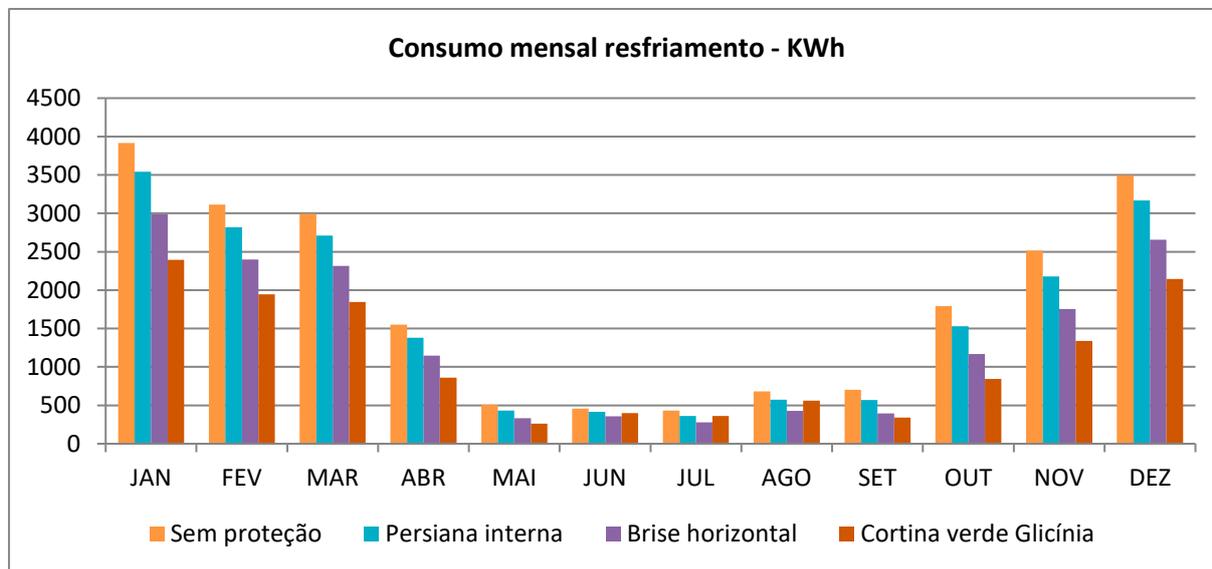
Verificou-se que o comportamento das alternativas de proteção solar avaliadas segue um padrão similar no decorrer dos meses do ano, para as diferentes orientações solares e áreas de abertura. Portanto, foi selecionada a situação mais desfavorável no consumo de energia anual para resfriamento para a realização da discussão dos resultados mensais: orientação Leste-Oeste, com 45% de área das aberturas, conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 15.

Primeiramente, podemos observar que o consumo de energia elétrica para resfriamento, independente da opção de proteção solar, é maior nos meses com médias de temperaturas mais altas, de outubro a abril. Entre os meses de maio a setembro, ainda há necessidade de uso do resfriamento artificial, embora de forma reduzida, por tratar-se de uma edificação de escritórios que, pela natureza de sua atividade, gera uma quantidade significativa de calor interno devido aos ocupantes, equipamentos e sistema de iluminação.

No período mais quente do ano, o desempenho energético da cortina verde destacou-se em relação às outras opções de sombreamento. Comparando o edifício sem nenhuma proteção solar, a redução média de consumo de energia para resfriamento utilizando a espécie Glicínia foi de 43%. Em relação ao sistema com persiana interna,

esta redução chegou a 36%. Já em um paralelo com o uso dos brises horizontais planejados, a cortina verde com a espécie Glicínia também foi favorável no período mais quente, com redução média de 22%.

Figura 15. Gráfico do consumo mensal de energia elétrica para resfriamento, orientação L-O, 45% de área das aberturas



5 Conclusões

Em relação ao método de avaliação adotado, podemos concluir sobre sua viabilidade e aplicabilidade, passível de ser reproduzido para caracterizar outras situações e espécies de vegetação trepadeira. No entanto, a coleta de um maior número de amostras, mais de uma imagem em cada mês, traria uma maior precisão, sendo possível mensurar a média mensal e seu desvio-padrão. Ainda assim, os dados coletados sobre a variação no Percentual de Transmissão Solar (PTS) da espécie avaliada, foram suficientes enquanto situação média para as simulações computacionais termo energéticas realizadas.

Ainda, através do estudo experimental, foi possível constatar as particularidades da espécie avaliada, com a significativa variação na capacidade de sombreamento dependendo da época do ano. Esta variação sazonal de bloqueio da radiação solar, devido à folhagem decídua, demonstrou ser um ponto positivo para sua utilização em cortinas verdes para clima subtropical, onde há estação fria e quente.

Já sobre os resultados das combinações simuladas, em diferentes orientações solares e área das aberturas, constatou-se que a performance na redução do consumo de energia elétrica, especialmente para resfriamento da edificação, foi favorável quando o sistema de sombreamento adotado foi a cortina verde. Da mesma forma, é perceptível a influência na variação do PTS da espécie nos diferentes meses do ano, adaptando-se

às variações de temperatura, enquanto os elementos convencionais, sobretudo os brises, foram simulados fixos e sem opções de regulagem.

No caso do consumo de energia com o sistema de iluminação, houve uma elevação, como era esperado, proporcional ao efeito de sombreamento causado pela vegetação nos períodos de folhagem mais densa. No entanto, este consumo é significativamente menor que o necessário para o resfriamento da edificação, o que acaba não prejudicando o desempenho das cortinas verdes em um balanço de consumo total de energia.

Ressalta-se que, para este estudo, o parâmetro fundamental avaliado foi o efeito de sombreamento da cortina verde na fachada. Portanto, não estão sendo considerados os possíveis efeitos da passagem de ventilação pelo elemento, como o resfriamento evaporativo do ar proporcionado pelo vegetal. Por este motivo, as simulações foram realizadas com o condicionamento artificial dos espaços principais, e não com ventilação natural. Da mesma forma, as análises avaliam o consumo de energia para a climatização artificial e não a caracterização de conforto térmico que possa ser proporcionada pela cortina verde.

Por fim, conclui-se ainda que, dentre as atuais e diversas tipologias de jardim vertical com aplicação em arquitetura, as cortinas verdes se destacam pelo aspecto funcional, e não somente pelo resultado estético. Além disso, é um sistema mais econômico e sustentável, uma vez que sua execução e manutenção são mais fáceis e menos dispendiosas em termos energéticos, de consumo de água para irrigação e insumos para manutenção da vegetação. Essas vantagens são condizentes com as premissas de uma arquitetura mais sustentável, com baixo impacto ao meio ambiente, eficiente energeticamente e saudável aos usuários.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220-3*. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and green facades: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 915-939, 2018.

BROWNE, E. *El Edificio “Consortio-Santiago” 14 Años Después*. Santiago, 2007. Disponível em: <http://www.ebrowne.cl>, acesso em: 10 mar. 2011.

CARLO, Joyce Correna. *Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais*. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DESIGN BUILDER. *Design Builder v. 3.4.0.041*. Design Builder Software Ltd, 2014. Disponível em <http://www.designbuilder.co.uk/>, acesso em 12 mai. 2014.

- ENERGYPLUS. *Arquivos climáticos*. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm 2014, acesso em 21 jul. 2014.
- HOPKINS, G.; GOODWIN, C. *Living architecture: green roofs and walls*. Collingwood: CSIRO Publishing, 2011. Disponível em <http://books.google.com.br>, acesso em 20 mai. 2012.
- INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Tabelas de consumo/eficiência energética*. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>, acesso em 14 jun. 2014.
- IP, K., LAM, M., MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, n. 45, p. 81-88, 2010.
- KOYAMA T., YOSHINAGA, M., HAYASHI, H., MAEDA, K. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, n. 66, p. 96-103, 2013.
- KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. *Manual de arquitetura ecológica*. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MUÑOZ, L. S.; BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. C.; FARIA, J. R. G. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 10, p. e019013, 2019.
- PÉREZ, G. *Façanes vegetades: estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental*. 2010. Tese (Doutorado). Programa de Doctorado Àmbits de Recerca de la Construcció i l'Energia a l'Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2010.
- PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GONZÁLEZ, J. M.; CABEZA, L. F. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conservation and Management*, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.
- SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. *Procedia Engeneering*, v. 21, p. 34-41, 2011.
- SUSOROVA, I. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In: PACHECO-TORGAL, F; LABRINHA, J. A.; CABEZA, L. F.; GRANQVIST, C.-G. (Org.). *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs*. Chicago: Elsevier, 2015. p. 127-153.
- SUSOROVA, I.; ANGULO, M.; BAHRAMI, P.; STEPHENS, B. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, n. 67, 1-13, 2013.
- VENÂNCIO, R.; PEDRINI, A. *Treinamento para o programa Design Builder*. Apostila. Natal: Labcon/UFRN, 2008.
- WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. *Building and Environment*, v. 97, p. 34-39, 2016.

WONG, N. H.; TAN, A. Y. K.; TAN, P. Y.; WONG, N. C. Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings*, n. 41, p. 1401-1408, 2009.

WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P.Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N.C. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.