

**Arquitetura e clima: Análise dos elementos bioclimáticos do projeto
Solaris Building do arquiteto Ken Yeang em Singapura**

*Architecture and climate: Analysis of the bioclimatic elements of the Solaris Building
project by architect Ken Yeang in Singapore*

*Arquitectura y clima: Análisis de los elementos bioclimáticos del proyecto del Edificio
Solaris del arquitecto Ken Yeang en Singapur*

Quétilan Rodrigues Domingues

Arquiteta e urbanista, mestranda, PPGAUP, UFSM, Brasil.
ketilanrdomingues@gmail.com

Ana Elisa Souto

Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM/CS, Professora Permanente Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo (PPGAUP/UFSM), Doutora, UFSM/CS, Brasil.
ana.souto@ufsm.br

RESUMO

As obras de Ken Yeang, arquiteto amplamente reconhecido por sua atuação no que é conhecido como “arquitetura verde”, destacam-se pelo fato de serem projetadas levando em consideração os condicionantes climáticos dos locais onde seus projetos são implantados. Nesse sentido, suas obras estão alinhadas com o conceito de arquitetura bioclimática, que visa conceber edificações adaptadas ao clima de cada região. Este artigo tem como objetivo caracterizar o clima da cidade de Singapura e analisar as estratégias bioclimáticas aplicadas ao edifício Solaris, avaliando se essas estratégias atendem às necessidades climáticas locais. A metodologia de análise consistiu na revisão de documentos do projeto, memoriais descritivos e imagens disponíveis no site do escritório dos arquitetos responsáveis pela obra. Os resultados da pesquisa revelam o uso consciente de determinados elementos na edificação corroboram com os princípios da arquitetura bioclimática.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura bioclimática. Conforto térmico. Eficiência energética.

ABSTRACT

The works by Ken Yeang, an architect widely recognized for his work in what is known as “green architecture”, stand out for the fact that they are designed taking into account the climatic conditions of the places where his projects are implemented. In this sense, his works are aligned with the concept of bioclimatic architecture, which aims to design buildings suitable for the climate of each region. This article aims to characterize the climate of the city of Singapore and analyze the bioclimatic strategies applied to the Solaris building, evaluating whether these strategies meet the local climate needs. The analysis methodology consisted of reviewing project documents, descriptive memorials and images available on the website of the office of the architects responsible for the work. The research results reveal the conscious use of certain elements in the building corroborate with the principles of bioclimatic architecture.

KEYWORDS: Bioclimatic project. Thermal comfort. Energy efficiency.

RESUMEN

Las obras de Ken Yeang, arquitecto ampliamente reconocido por su trabajo en lo que se conoce como “arquitectura verde”, destacan por estar diseñadas teniendo en cuenta las condiciones climáticas de los lugares donde se implementan sus proyectos. En este sentido, sus obras se alinean con el concepto de arquitectura bioclimática, que pretende diseñar edificios adaptados al clima de cada región. Este artículo tiene como objetivo caracterizar el clima de la ciudad de Singapur y analizar las estrategias bioclimáticas aplicadas al edificio Solaris, evaluando si dichas estrategias satisfacen las necesidades climáticas locales. La metodología de análisis consistió en la revisión de documentos del proyecto, memorias descriptivas e imágenes disponibles en el sitio web del despacho de los arquitectos responsables de la obra. Los resultados de la investigación revelan que el uso consciente de ciertos elementos en el edificio corroboran con los principios de la arquitectura bioclimática.

PALABRAS CLAVE: arquitectura bioclimática. Comodidad térmica. Eficiencia energética.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento das discussões acerca das condições climáticas globais e dos impactos que elas têm sobre a humanidade, torna-se essencial considerar a arquitetura, relacionando-a às necessidades específicas de cada localidade. Aproveitar esses indicadores climáticos tem se mostrado crucial para buscar a criação de uma arquitetura mais sustentável, econômica e eficiente para os usuários. Nesse contexto, emerge o conceito de arquitetura bioclimática, cujo objetivo é propor soluções arquitetônicas adequadas às particularidades climáticas de cada região (MELLO; SANTOS; DORNELES, 2017).

A bioclimatologia, que estuda como as condições e os efeitos climáticos afetam o ambiente e as pessoas, tem sido objeto de pesquisa desde 1963, quando Victor Olgyay e seu irmão Aladar Olgyay colaboraram pela primeira vez nesse campo. A primeira obra que abordou essa temática foi o livro intitulado "Design e Clima: Abordagem Bioclimática ao Regionalismo Arquitetônico", escrito pelos irmãos Olgyay, o que os tornou pioneiros nesse campo (OLGYAY, 1998). De acordo com Olgyay (1998), a bioclimatologia ganhou maior enfoque a partir da década de 1970 em um momento em que a sociedade passou a perceber o uso desenfreado dos recursos energéticos de forma a tornar estes recursos esgotáveis. A partir deste panorama, as construções passaram a ser objetos de estudo, de forma a torná-las mais eficientes do ponto de vista energético e térmico, diminuindo assim, o uso de equipamentos de resfriamento que demandam de maior uso energético na edificação.

Percebe-se que, devido às mudanças climáticas e à ameaça que elas representam para a vida no planeta, o setor da construção civil está progressivamente se adaptando aos conceitos de sustentabilidade, o que inclui a incorporação do conceito da arquitetura bioclimática nas edificações. Um dos principais adeptos desse conceito na construção civil é o arquiteto malaio Ken Yeang, graduado pela Faculdade Architectural Association e considerado pioneiro na prática da arquitetura ecológica (HAMZAH & YEANG, 2023 a). Suas obras se destacam pelo uso de iluminação e ventilação naturais, pela captação de águas pluviais e pelo emprego de vegetação para proporcionar edificações mais eficientes, tanto do ponto de vista térmico quanto econômico. Isso contribui para uma construção mais sustentável e responsável do ponto de vista ambiental (RODRIGUES, 2018).

Um dos principais locais onde Yeang atua é a cidade-estado de Singapura. Esta ilha, que já fez parte da Malásia, é um dos centros econômicos mais importantes da Ásia. De acordo com a análise do site do Banco Mundial, a média global do PIB (Produto Interno Bruto) em 2022 foi de U\$12.647 per capita, enquanto a média de Singapura ultrapassou os 82.800 dólares, superando até mesmo grandes potências mundiais, como os Estados Unidos, por exemplo (BANCO MUNDIAL, 2023).

Ao contrário do que geralmente se imagina em relação à construção civil, que muitas vezes cresce de maneira desordenada, especialmente em cenários de rápido desenvolvimento, Singapura tem adotado uma abordagem mais responsável. O setor está comprometido em aumentar os índices de áreas verdes dentro da cidade e na conservação de áreas florestais. A cidade, internacionalmente reconhecida como a "cidade da natureza," desempenha um papel significativo nas discussões sobre o aumento das áreas verdes, tanto em espaços públicos quanto privados, no controle das ilhas de calor, na gestão sustentável e na promoção da biodiversidade urbana (JOSON, 2022).

Nesse contexto encontra-se o Edifício Solaris, objeto de estudo desta pesquisa. O projeto foi concebido pelo escritório T.R. Hamzah & Yeang Design Team, cujo um dos sócios é o arquiteto Ken Yeang, em colaboração com outros profissionais na cidade de Singapura. A construção foi realizada no período de 2008 a 2010, abrangendo uma área total de mais de 51.000m², incluindo uma área ajardinada de 8.363m². Em relação à área do terreno (7.734m²), as áreas verdes do edifício representam 108%, evidenciando uma das diretrizes fundamentais adotadas pelo arquiteto: o uso intensivo de vegetação (HAMZAH & YEANG, 2023, b).

Adicionalmente, o Edifício Solaris ostenta a Certificação BCA *Green Mark Platinum*, amplamente reconhecida como uma das certificações mais significativas no âmbito das construções sustentáveis. Essa certificação avalia as soluções implementadas na construção que atendem aos critérios de eficiência energética, sustentabilidade e baixo impacto ambiental (ECOLOGICAL ARCHITECT, 2016). O propósito deste artigo é examinar as principais estratégias bioclimáticas adotadas no Edifício Solaris e compreender se essas estratégias estão alinhadas com as condições climáticas que caracterizam a cidade de Singapura.

2 MÉTODO DE ANÁLISE

As análises realizadas sobre o projeto do edifício Solaris, do arquiteto Ken Yeang, serão focadas sob o aspecto das estratégias bioclimáticas aplicadas à edificação, utilizando como base a análise documental por meio dos desenhos técnicos, cortes esquemáticos e imagens da edificação e de sua implantação, afim de compreender o entorno em que se insere e como as estratégias bioclimáticas interagem neste cenário.

No que diz respeito à análise de caracterização climática e às estratégias bioclimáticas recomendadas com base nas condições climáticas, serão empregadas duas ferramentas: o *Clima Date*, que realiza uma análise climática abrangente de Singapura, utilizando os dados coletados pela Estação Meteorológica de Cingapura, e o *ProjetEEE* (*Projetando Edificações Energeticamente Eficientes*), que oferece as principais recomendações para cada tipo de clima.

A ferramenta *ProjetEEE*, que foi desenvolvida em colaboração entre o PROCEL/Eletróbrás e a Universidade Federal de Santa Catarina, tem por principal propósito auxiliar estudantes e profissionais da construção civil na compreensão dos fatores climáticos locais nas principais cidades brasileiras. Além disso, a ferramenta também disponibiliza as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para cada cidade, de acordo com os resultados climáticos apresentados (PROJETEEE, 2023).

É importante destacar que a ferramenta *ProjetEEE* é uma plataforma brasileira e, portanto, abrange exclusivamente dados e análises dentro do território brasileiro. Por esse motivo, optou-se por utilizar um município brasileiro como ponto de referência para as análises bioclimáticas. Nesse contexto, foi escolhida a cidade de Belém-PA, que, além de estar situada na mesma zona climática que a cidade de Singapura, também apresenta características climáticas similares à cidade-estado.

3 SINGAPURA E O CLIMA

Autores como Lamberts, Dutra e Pereira (2004), debatem a relevância de conduzir estudos prévios acerca das condições climáticas e do local de implantação de uma nova edificação, antecipando-se ao início do projeto. Isso visa conceber uma arquitetura que atenda

de maneira apropriada e sustentável às exigências do usuário, ao mesmo tempo em que promove uma arquitetura eficiente do ponto de vista energético.

Para analisar as decisões de projeto do Edifício Solaris, é essencial compreender as condições climáticas que afetam Singapura. A cidade-estado está situada na região próxima à linha do Equador, portanto, está sujeita às influências do clima Equatorial. As cidades localizadas nessa zona climática são conhecidas por seu clima quente e úmido, com um índice de chuvas elevado que se distribui de forma regular ao longo do ano e temperaturas elevadas e constantes. No clima Equatorial, não há distinção entre as estações do ano, apresentando uma temperatura média anual de 26°C. Além disso, não ocorrem variações significativas de temperatura entre o período diurno e noturno (PINHEIRO, 2013).

Para a caracterização geral do clima específico de Singapura, utilizou-se a ferramenta Clima Date, que apresenta uma tabela geral (figura 1) composta pelas principais variantes climáticas da cidade-estado.

Figura 1 – Compilado dos principais dados climáticos da cidade de Singapura.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25.8	26.2	26.7	27.1	27.4	27.3	27	26.9	26.9	26.7	26.3	26
Temperatura mínima (°C)	24.3	24.5	25	25.4	25.7	25.7	25.5	25.4	25.3	25.1	24.8	24.6
Temperatura máxima (°C)	27.9	28.7	29.1	29.2	29.1	29	28.5	28.5	28.6	28.7	28.3	28
Chuva (mm)	168	97	152	198	232	200	199	185	164	214	280	277
Umidade(%)	84%	82%	83%	85%	85%	84%	83%	83%	84%	85%	86%	86%
Dias chuvosos (d)	14	10	16	19	20	18	18	18	16	19	20	18
Horas de sol (h)	8.8	9.1	9.1	8.9	8.8	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2	8.7	8.7

Fonte: ClimaDate, 2023.

Os dados retratados na Figura 1 demonstram a inexistência de variações significativas nas temperaturas ao longo do ano. As médias mensais das temperaturas mantêm-se na faixa entre 24,3°C e 27,4°C, o que confirma um clima predominantemente quente. Além disso, em relação à temperatura, nota-se que a quantidade de horas de luz natural também se mantém constante durante todo o ano. As médias das horas de sol ao longo do ano variam de 8,7 horas por dia a 9,2 horas, indicando uma elevada incidência de luz solar e provável exposição intensa à radiação solar. Adicionalmente, percebe-se também a regularidade das precipitações ao longo de todos os meses, com destaque para novembro e dezembro, que se destacam como os meses mais chuvosos, enquanto fevereiro é o menos chuvoso.

Uma questão de grande relevância a ser considerada é a umidade relativa do ar, que está diretamente relacionada à sensação de conforto em relação à temperatura. Quando a umidade relativa é elevada, mesmo com temperaturas altas, a sensação é de frescor. Por outro lado, quanto menor for o percentual de umidade relativa do ar, maior será a sensação de desconforto e abafamento (LAMBERTS, 2016).

No caso de Singapura, os percentuais de umidade relativa do ar situam-se dentro de uma faixa que varia de 82% (em fevereiro) a 86% (em novembro e dezembro). Apesar das temperaturas consideravelmente elevadas na região, a presença constante de chuvas, aliada à localização geográfica de Singapura, que está no final de uma porção de terra e é banhada pelo Estreito de Singapura, contribui para manter a umidade relativa do ar em níveis elevados. Isso, por sua vez, ajuda a manter uma sensação térmica mais agradável.

A partir da caracterização climática, é possível identificar as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para atender às demandas específicas de cada região. Utilizando a ferramenta ProjetEEE e focando a análise climática na cidade de Belém (PA), que compartilha características climáticas semelhantes às encontradas em Singapura, podemos verificar as estratégias bioclimáticas mais indicadas para a situação em Belém, as quais também são aplicáveis a Singapura. A Figura 2 representa as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para Belém.

Figura 2 – Principais estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Belém (PA), aplicáveis também à Singapura.



Fonte: ProjetEEE, 2023.

Com base na análise climática realizada pela ferramenta para a cidade de Belém, a plataforma identifica que a cidade experimenta desconforto térmico devido ao calor durante 97% do ano. Portanto, a ferramenta lista as principais estratégias bioclimáticas a serem empregadas em edificações sujeitas a essas mesmas condições climáticas, seguindo três princípios: estratégias que promovam a ventilação natural dos ambientes, o sombreamento das construções e abordagens que visem a inércia térmica com foco no resfriamento das edificações.

Portanto, é recomendável a incorporação de elementos que promovam a proteção solar como uma das principais estratégias no projeto das edificações. Também é fundamental considerar a ventilação natural como um meio de renovar o ar nos espaços internos, levando em conta estratégias que facilitem a circulação do ar, como a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé. Além disso, é de suma importância ponderar sobre as propriedades dos materiais e elementos que contribuam para o isolamento térmico das construções, com o intuito de manter as temperaturas internas mais baixas em comparação com as temperaturas externas.

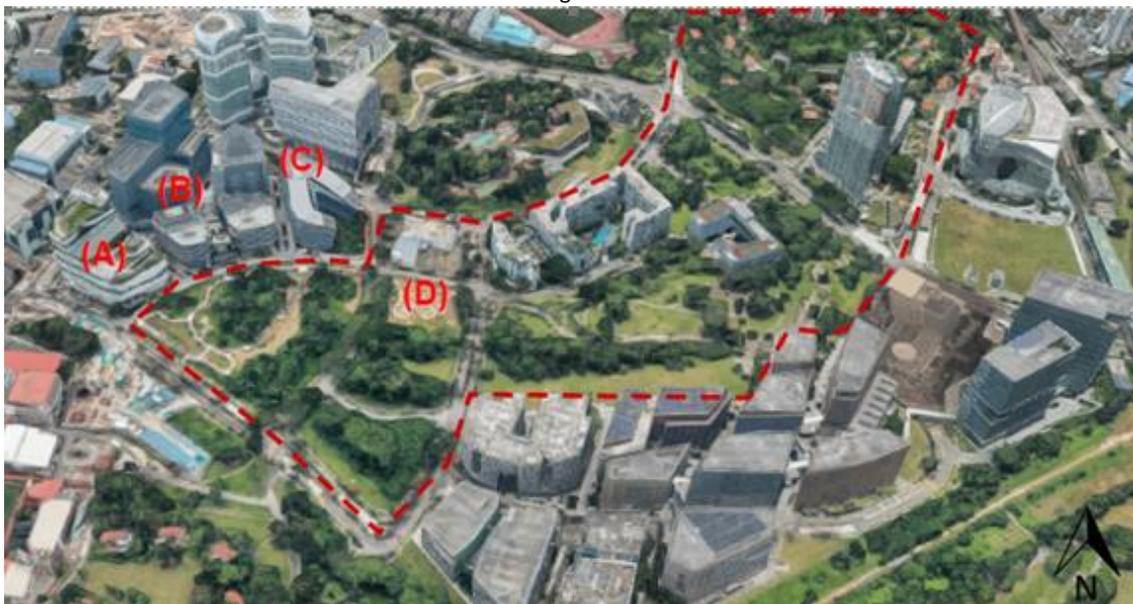
4 O EDIFÍCIO SOLARIS E AS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

O Edifício Solaris insere-se em um contexto urbano de grande potencial ecológico e tecnológico. Os lotes lindeiros à edificação contam com prédios que abrigam usos de empresas voltadas ao ramo tecnológico e apresentam arquitetura com intensa presença “do verde” bem

como estratégias que proporcionam o controle da incidência solar e uso de energia alternativa por meio de sistemas fotovoltaicos (Figura 3).

O Edifício Solaris está inserido em um contexto urbano de notável potencial ecológico e tecnológico. As edificações vizinhas ao edifício abrigam usos variados de cunho comercial, destacando-se as empresas do setor tecnológico, e sua arquitetura se destaca pela presença abundante de elementos verdes, bem como pela adoção de estratégias que visam ao controle da incidência solar e o uso de energia alternativa por meio de sistemas fotovoltaicos (Figura 3).

Figura 3 - Esquema de implantação do Edifício Solaris. (A) Edifício Solaris; (B) e (C) edificações vizinhas sendo (B) A Nexus One-North Space For Rent, que abriga diversas empresas; (C) Eclipsi Building que apresenta uma espécie de floresta interna em seu Hall de acesso; (D) One Forest North Park, importante área verde presente na região.

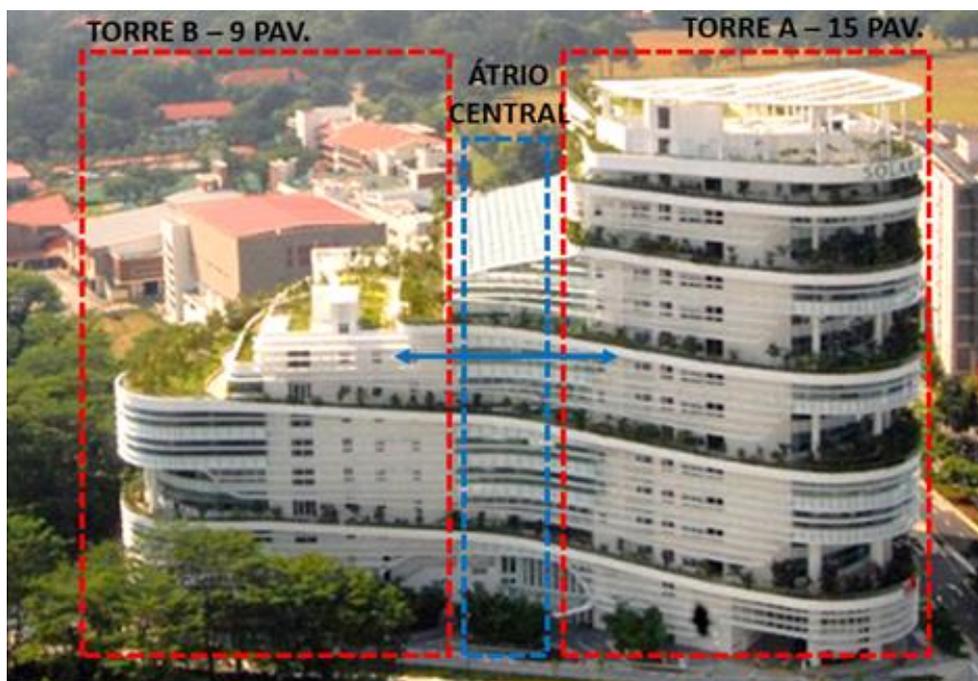


Fonte: Google Earth, adaptado pela autora (2023).

Outro aspecto significativo relacionado à implantação da edificação é a proximidade de um parque urbano, o *One Forest North Park* (Figura 3, d), que abrange uma extensa área verde. Isso proporciona aos usuários uma integração interessante entre o ambiente urbano e a natureza. Em determinadas trechos, os visitantes podem percorrer passarelas suspensas na altura das copas das árvores, enquanto em outros momentos, têm a opção de caminhar no nível nos passeios públicos ou em caminhos entre as edificações. A presença desse parque contribui para a criação de um microclima urbano que pode atenuar os efeitos das ilhas de calor devido à abundante presença de vegetação.

No que diz respeito às características construtivas do Solaris, o edifício é constituído por duas torres, sendo a torre mais alta com 15 andares e a torre mais baixa com 9 andares. A configuração das torres permite a criação de terraços-jardins nas coberturas, o que contribui para aumentar a inércia térmica da edificação. Além disso, essas torres estão conectadas por um átrio central (Figura 4), que desempenha não apenas a função de ligar esses dois elementos, mas também de proporcionar iluminação e ventilação natural para o interior do edifício.

Figura 4 – Vista externa da edificação com a indicação das torres e o elemento de ligação entre elas, o átrio central.



Fonte: HAMZAH & YEANG, adaptado pela autora (2023).

As principais diretrizes projetuais utilizadas na concepção da edificação foi a continuidade do ecossistema já existente no entorno do projeto aumentando a biodiversidade da região e promovendo uma edificação que contasse com a mínima utilização de equipamentos de resfriamento (ar condicionado), fomentando assim a otimização do uso de energia elétrica. Para alcançar essas diretrizes, o arquiteto apropria-se de elementos para o controle da radiação solar como o uso de brises horizontais aliados ao expressivo uso da vegetação, fazendo com que a edificação torne-se um habitat natural de espécies animais incentivando assim a biofilia. A figura 5 apresenta a partir de um corte esquemático a presença das principais estratégias que não apenas atendem as diretrizes projetuais do partido, como também abrangem as estratégias bioclimáticas adequadas a zona climática Equatorial.

As principais diretrizes adotadas no projeto da edificação visavam à preservação do ecossistema circundante, com o objetivo de aumentar a biodiversidade da região e criar um edifício que necessitasse de um uso mínimo de equipamentos de resfriamento, como condicionadores de ar, a fim de promover a eficiência energética. Para atender a essas diretrizes, o arquiteto incorporou elementos de controle da radiação solar, como o uso de brises horizontais, combinados com uma abundante vegetação, transformando o edifício em um habitat natural que incentiva a conexão com a natureza, uma abordagem conhecida como biofilia. A Figura 5 apresenta, por meio de um corte esquemático, as principais estratégias que não apenas atendem às diretrizes do projeto, mas também incorporam estratégias bioclimáticas apropriadas para a zona climática Equatorial.

Figura 5 - Corte esquemático indicando as principais estratégias bioclimáticas utilizadas pelo arquiteto Ken Yeang.



Fonte: HAMZAH & YEANG, adaptado pela autora (2023).

Segundo a análise das estratégias utilizadas no Edifício Solaris, pode-se observar que em sua maioria, as estratégias tem como principais funções a proteção solar ao passo que, utilizar a iluminação natural como um componente que promove a economia de energia interna ao prédio. Pode-se observar a partir da Figura 5, a criação de uma espécie de poço de luz que atravessa a torre principal da edificação, de modo que, os ambientes internos da torre, que por tipologia não receberiam iluminação natural uma vez que estão distantes das aberturas do prédio, possam receber essa iluminação e também a ventilação natural. Neste poço de luz, foi criado pequenas varandas que além de receber vegetação que contribui ao conceito biofílico, abre os ambientes para este espaço.

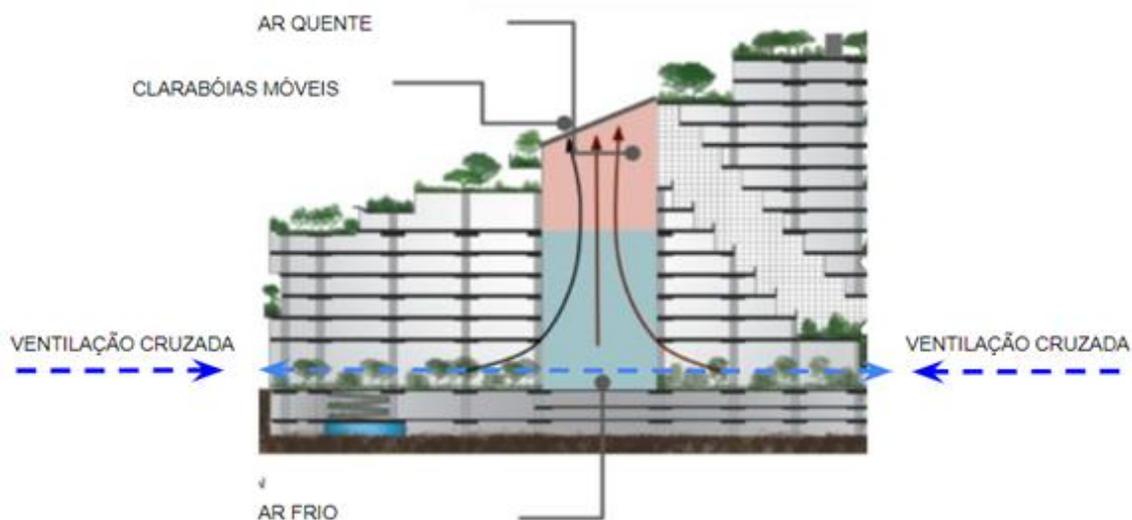
Ao analisar as estratégias empregadas no Edifício Solaris, fica evidente que a maioria delas tem como principal objetivo a proteção solar, ao mesmo tempo em que fazem uso da iluminação natural como um recurso que promove a economia de energia no interior do edifício. A Figura 5 ilustra a criação de uma espécie de poço de luz que atravessa a torre principal da edificação. Essa estratégia permite que os ambientes internos da torre, que, por sua tipologia, não teriam acesso à iluminação natural devido à distância em relação às aberturas do prédio, possam ser contemplados por essa iluminação e também pela ventilação natural. No interior desse vão de luz, foram criadas pequenas varandas que não apenas recebem vegetação, contribuindo para o conceito de biofilia, mas também abrem os ambientes para esse espaço.

Além da implementação do poço de luz para economia de energia elétrica, o edifício também está equipado com sistemas de sensores integrados que utilizam tecnologia para avaliar a luminosidade dos ambientes de acordo com suas demandas específicas. Dessa forma, os sensores acionam as luminárias quando identificam a necessidade de iluminação e as desligam quando percebem que não é mais necessária.

Assim como o poço de luz, o projeto conta com um átrio central, que além da função de ligar as duas torres do projeto, também exerce a função de elemento para realizar as trocas internas de ar através do efeito chaminé. Neste sentido, a ventilação cruzada promovida no térreo juntamente com a presença de abundante vegetação, produzem um microclima e sensação térmica agradável aos usuários. Entretanto, conforme a massa de ar interna

permanece no espaço, o ar tende a esquentar o que por sua vez, aumenta a sensação de desconforto e abafamento interno. Para evitar a questão, o átrio central funciona com uma chaminé, destinada a realizar a retirada de ar quente de dentro da edificação. A Figura 6 exemplifica de forma esquemática como funciona essa troca de ar.

Figura 6 – Esquema de troca de ventilação. Entrada do ar frio e retirada do ar quente, mantendo a edificação em níveis térmicos confortáveis.



Fonte: HAMZAH & YEANG, adaptado pela autora (2023).

A parte superior do átrio possui várias claraboias que são controladas por sistemas automáticos capazes de detectar a temperatura interna da edificação. Elas se abrem para eliminar o ar quente, mantendo apenas o ar mais fresco no interior do edifício. Além disso, o sistema de claraboias também é sensível à presença de chuvas, acionando-se automaticamente para fechar suas aberturas quando isso se faz necessário.

Uma outra característica que se destaca, não apenas no projeto do Solaris, mas também em outras edificações concebidas por Ken Yeang (Figura 7), é a notável presença de vegetação no entorno da edificação. Essa vegetação desempenha um papel fundamental na estratégia de resfriamento por inércia térmica e na formação de uma barreira natural de sombreamento. Segundo reportagem do site Ecological Architect (2016) a redução de consumo da energia elétrica proveniente do uso da vegetação do projeto representa 36% em comparação com demais edificações de mesmo porte implantadas na região onde se insere o Edifício Solaris. Esta redução do consumo se dá a partir da diminuição da transmitância térmica do edifício que é inferior a 39W/m^2 que se torna relevantemente superior, em comparação, por exemplo, a vedação utilizando vidro laminado 8mm que, segundo simulações da plataforma ProjetEEE, corresponde a uma transmitância térmica de 5.700 W/m^2 (PROJETEEE, 2023). Neste aspecto, compreende-se que a vegetação desempenha um papel que vai além de questões estéticas nos projetos de Yeang, mas também função ativa na redução do consumo energético de seus prédios.

Uma outra característica que se destaca, não apenas no projeto do Solaris, mas também em outras edificações concebidas por Ken Yeang (Figura 7), é a notável presença de vegetação no entorno da edificação. Essa vegetação desempenha um papel fundamental na

estratégia de resfriamento por inércia térmica e na formação de uma barreira natural de sombreamento. Segundo uma reportagem do site Ecological Architect (2016), a utilização de vegetação no projeto resulta em uma redução de 36% no consumo de energia elétrica em comparação com outras edificações de tamanho similar localizadas na mesma região onde se encontra o Edifício Solaris e que não contam com vegetação expressiva em sua concepção. Esta redução no consumo é atribuída à diminuição da transmitância térmica do edifício, que é de apenas 39W/m^2 , em contraste significativo com, por exemplo, o uso de vidro laminado de 8mm, que possui uma transmitância térmica de 5.700 W/m^2 , de acordo com simulações realizadas pela plataforma ProjeetEEE (2023). Neste aspecto, é possível compreender que a vegetação desempenha um papel que vai além da estética nos projetos de Yeang, contribuindo ativamente para a redução do consumo energético de seus prédios.

Além da baixa transmitância térmica, a vegetação desempenha um papel crucial nas obras de Ken Yeang, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar, a redução das emissões de CO_2 (dióxido de carbono, gás prejudicial à camada de ozônio), o estímulo da evapotranspiração, a atenuação dos efeitos negativos das ilhas de calor urbanas, o controle da propagação de ruídos urbanos para o interior da edificação, a criação de um habitat natural para as espécies animais que já habitam a região e o uso da massa vegetal como um sistema vivo para a filtragem do ar.

Figura 7 – Projetos do arquiteto Ken Yeang que enfatizam o uso de vegetação em sua composição. (A) Complexo Shenzhen (China) em fase de implantação. (B) Editt Tower (Singapura) em construção.



Fonte: HAMZAH & YEANG, 2023.

A vegetação é integrada ao projeto do Solaris por meio da criação de uma rampa externa contínua. Essa rampa estende o ecossistema já presente na região, que se origina no parque adjacente à edificação, o *One Forest North Park*. A rampa possui uma largura de três metros, destinando-se ao plantio de espécies vegetais nativas e oferecendo uma passagem entre a edificação e os canteiros, facilitando assim a manutenção da vegetação sem a necessidade de acessar os espaços comerciais internos (Figura 8). Devido à sua largura, essa estrutura gera balanços que proporcionam sombreamento duplo. Na altura da rampa, o sombreamento é proporcionado pela cobertura vegetal, enquanto, no nível inferior à rampa, a sombra é projetada pela própria estrutura da rampa.

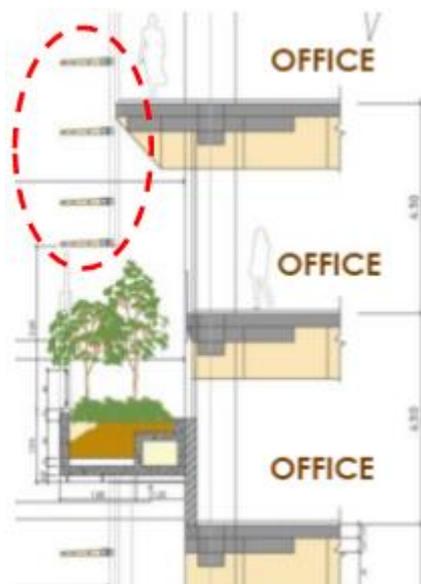
Figura 8 – Rampa ecológica. (A) Funcionamento da rampa ecológica com o espaço destinado à vegetação e a passarela de manutenção. (B) Panorama geral da rampa ecológica que permeia ao longo do prédio.



Fonte: HAMZAH & YEANG, 2023.

Em relação à proteção solar, a edificação conta com sistemas de brises horizontais ao redor de todo o prédio (Figura 9). O sistema é projetado fornecendo sombreamento ao ambiente interno conforme a necessidade tanto no equinócio (posição solar perpendicular à Terra) como no solstício (posição solar com maior inclinação), indicando o total controle que o arquiteto possui sobre o percurso que a projeção solar tem em relação ao prédio e da importância das simulações computacionais neste processo.

Figura 9 – Corte esquemático e indicação de localização dos brises horizontais presentes no projeto para o controle de incidência solar.



Fonte: HAMZAH & YEANG, 2023.

Comprovando mais uma vez a importância em dominar todas as variantes climáticas de cada região, o Edifício Solaris foi projetado de forma a tomar partido da constante precipitação ao qual a cidade-estado de Singapura está exposta regularmente durante todo o ano. Neste sentido, o prédio conta com sistemas que permitem a coleta e reuso das águas pluviais. Esta estratégia é utilizada tanto na captação das águas da chuva através dos terraços

jardins, como a partir de canalizações presentes nos canteiros da rampa ecológica. As águas são conduzidas através de tubulações até um sistema denominado pelo arquiteto como eco célula (Figura 10).

Comprovando mais uma vez a importância de compreender todas as variantes climáticas de cada região, o Edifício Solaris foi projetado de forma a tirar partido das constantes precipitações às quais a cidade-estado de Singapura está sujeita durante todo o ano. Nesse sentido, o prédio possui sistemas que permitem a coleta e reutilização das águas pluviais. Essa estratégia é empregada tanto na captação das águas da chuva por meio dos terraços-jardins, quanto por meio de canalizações presentes nos canteiros da rampa ecológica. As águas são conduzidas por tubulações até um sistema denominado pelo arquiteto como "eco célula" (Figura 10).

Figura 10 – Sistema de eco-célula criado por Ken Yeang como forma de reuso das águas pluviais. Pelas imagens, nota-se o caminho realizado pelas águas que são conduzidas das rampas e terraços vegetados por canalizações até a eco-célula,



Fonte: <<https://www.architectsjournal.co.uk/archive/llewelyn-davies-yeang-goes-out-of-business>>. Acesso: set. 2023.

A eco célula localizada no início da rampa ecológica onde há a presença de um jardim vertical que camufla o sistema de tubulações que direciona às águas pluviais até rampas espirais que conduzem estas águas até um reservatório localizado no subsolo. Esse espaço é reaproveitado tanto como receptor das águas como um rasgo na estrutura que conduz iluminação e ventilação natural aos andares de subsolos que em sua maioria, não recebem esse tipo de tratamento. As águas são reconduzidas através de sistemas de bombeamentos para os canteiros de vegetação, onde alimentam as plantas, reduzindo o consumo de água da edificação na manutenção da abundante vegetação presente no projeto. Esta estratégia também é utilizada em outros prédios assinados pelo arquiteto como por exemplo na área de acesso aos pavimentos de subsolo do Suasana PJH, prédio localizado em Putrajaya, na Malásia.

A eco célula está localizada a partir do início da rampa ecológica, onde há a presença de um jardim vertical que camufla o sistema de tubulações que direciona as águas pluviais até rampas em espiral que conduzem essas águas até um reservatório localizado no subsolo. Esse espaço é reaproveitado tanto como receptor das águas quanto como uma abertura na estrutura que proporciona iluminação e ventilação natural aos andares do subsolo, que em sua

maioria, não recebem esse tipo de tratamento. As águas são redirecionadas por meio de sistemas de bombeamento para os canteiros de vegetação, onde alimentam as plantas, reduzindo assim o consumo de água da edificação na manutenção da abundante vegetação presente no projeto. Essa estratégia também é empregada em outros prédios realizados pelo arquiteto. Um desses projetos, é o edifício Suasana PJH, localizado em Putrajaya, onde a eco célula é implantada de forma semelhante ao Edifício Solaris, realizando a integração entre o espaço aberto e os andares do subsolo.

4 CONCLUSÃO

Tanto a análise do projeto Solaris quanto a pesquisa das demais obras do arquiteto Ken Yeang mostram a singularidade que o profissional apresenta no que diz respeito à sensibilidade de realizar uma arquitetura responsável do ponto de vista ambiental, ecológico e sustentável. Suas obras demonstram o cuidado em considerar as particularidades impostas pelos condicionantes de cada local como ponto de partida para seus projetos. Além disso, pode-se afirmar que, no caso do Edifício Solaris, as estratégias bioclimáticas consideradas adequadas para a cidade de Belém (PA), utilizada como cidade de referência por apresentar condições climáticas semelhantes às de Singapura, são adotadas em diversos aspectos e em diferentes elementos da construção.

No entanto, alguns questionamentos se fazem necessários a respeito das escolhas projetuais no caso do Edifício Solaris. Embora a proposta da edificação tenha inquestionável relevância do ponto de vista térmico, ecológico, sustentável e adequado ao clima, é importante observar que o empreendimento ainda demanda um grande consumo energético, sobretudo em razão de seu uso, que abriga empresas voltadas para a tecnologia, as quais, por excelência, necessitam de máquinas de grande porte que, por sua vez, consomem uma quantidade significativa de energia elétrica.

Neste sentido, o projeto não apresentou estratégias que auxiliassem na sustentabilidade energética. Não há a presença, por exemplo do uso de energia solar, como é observado nos prédios do entorno da edificação. Em reportagem do site Pensar Contemporâneo (2021), dispõe de poucos recursos no que tange a geração de energia por meio de sistemas eólicos ou hidrelétricos, sendo a principal fonte de geração de energia os sistemas de gás natural que correspondem a 95% da matriz energética da cidade-estado. Porém, é crescente a preocupação e os investimentos na geração de energia considerada limpa, como, por exemplo, o uso de sistemas fotovoltaicos. Por conta de sua extensão territorial ser limitada, a solução encontrada para a geração de energia fotovoltaica foi criar parques solares flutuantes, que geram energia a partir da captação da luz solar e da reação de correntes elétricas por parte do atrito gerado entre os painéis e o balanço das ondas (PENSAR CONTEMPORÂNEO, 2021).

Nesse sentido, percebe-se que o projeto não incluiu estratégias que contribuíssem para a geração de energia alternativa. Por exemplo, não há a utilização de energia solar, como se observa nos prédios circundantes. Conforme reportagem do site Pensar Contemporâneo (2021), a cidade-estado dispõe de recursos limitados para a geração de energia por meio de sistemas eólicos ou hidrelétricos, sendo o sistema de gás natural a principal fonte de geração de energia, representando 95% da matriz energética. No entanto, há crescentes investimentos na área de geração de energia considerada limpa, como os sistemas fotovoltaicos. Devido à limitação de sua extensão territorial, uma solução encontrada para a geração de energia

fotovoltaica foi a criação de parques solares flutuantes. Esses parques geram energia capturando a luz solar e aproveitando as correntes elétricas criadas pelo atrito entre os painéis e o movimento das ondas (PENSAR CONTEMPORÂNEO, 2021).

Relacionando a matriz energética da região e a importância da geração de energias alternativas neste cenário, cabe a estudos futuros realizar uma investigação que busque justificar a falta de estratégias voltadas à geração de energias renováveis na edificação, sobretudo considerando o entorno em que o edifício se encontra onde há a presença desses sistemas nos prédios vizinhos e considerando a elevada demanda energética que os usos presentes na edificação acabam necessitando.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

CLIMA DATE. **Singapura**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/asia/singapura/singapura/singapura-4766/t/novembro-11/#climate-table-year>> Acesso: set. 2023.

ECOLOGICAL ARCHITECT. Green Project. 2016. Disponível em: <<https://ecologicalarchitect.wordpress.com/>> Acesso: set. 2023.

HAMZAH & YEANG (a). **Ken Yeang**. Disponível em: <<https://trhamzahyeang.com/portfolio-item/solaris/>>. Acesso: ago. 2023.

HAMZAH & YEANG (b). **Solaris**. Disponível em: <<https://trhamzahyeang.com/ken-yeang/>> Acesso: ago. 2023.

JOSON, Julia. "Como Singapura está criando um ambiente urbano mais verde" [How Singapore is Pioneering the Way to Creating a Greener Urban Environment] 16 Mar 2022. **ArchDaily Brasil**. (Trad. Sbeghen Ghisleni, Camila) Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/977113/como-singapura-esta-criando-um-ambiente-urbano-mais-verde>> ISSN 0719-8906> Acesso: set. 2023.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. Florianópolis:Pro-Livros, 2004.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**. 7 Ed. Laboratório de eficiência energética em edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

MELLO, Mário; SANTOS, Eudes; DORNELES, Ramires. A importância de bioclimática aplicada no projeto animado. **Revista Administração UFSM**, Santa Maria, V.10, Edição Especial, p.09-25, agosto 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319071508_A_importancia_de_estrategias_bioclimaticas_aplicadas_no_projeto_arquitetonico. Acesso: ago. 2023.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

PENSAR CONTEMPORÂNEO. Como Cingapura construiu um dos maiores parques solares flutuantes do mundo. 2021. Disponível em: <<https://www.pensarcontemporaneo.com/como-cingapura-construiu-um-dos-maiores-parques-solares-flutuantes-do-mundo/>> Acesso: set. 2023.

PIB PER CÁPITA (US\$ A PRECIOS ACTUALES. In Banco Mundial. Disponível em: Disponível em: <<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD>>. Acesso: ago. 2023.

PIB PER CÁPITA (US\$ A PRECIOS ACTUALES - SINGAPURE. In Banco Mundial. Disponível em: <<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?locations=SG>>. Acesso: ago. 2023.

PINHEIRO, Dorival Freitas. **Impacto da morfologia no desempenho térmico das parcelas urbanas em clima equatorial na cidade de Belém**. Dissertação (mestrado em arquitetura e urbanismo). Universidade Federal do Pará, 2013.

ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <
<http://www.mme.gov.br/projeteee/sobre-o-projeteee/>> Acesso: set. 2023.

RODRIGUES, Luciana Arantes et al. **Técnicas e tecnologias para implementar paredes verdes externas em edifícios residenciais e comerciais na cidade de São Paulo**. Arquitetura e Urbanismo, 2018 Tradução. Disponível em:
<https://au.pini.com.br/2018/03/tecnicas-e-tecnologias-para-implementar-paredes-verdes-externas-em-edificios-residenciais-e-comerciais-na-cidade-de-sao-paulo/>. Acesso: set. 2023.