

## **APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DURANTE EL PROCESO DE DISEÑO DEL NUEVO CENTRO ADMINISTRATIVO DEL ESTADO DE MARANHÃO, BRASIL**

**Alejandro Naranjo (1); Ricardo Forgiarini Rupp (2); Lucas Arango Díaz (3); Natalia Giraldo Vásquez (4); Jenny Sierra (5); Felipe Gallego (6); Alejandro González (7); William Castaño (7); Carolina Rocha Carvalho (8); Marcelo Galafassi (9)**

(1) Arq. Mg. alejonaranjo83@gmail.com, LATWorkshop

(2) Ing. Civil, Doctorando PPGEC-UFSC, ricardorupp@gmail.com, LATWorkshop

(3) Arq. Mg., lucas.arango@usbmed.edu.co, Universidad de San Buenaventura, Medellín

(4) Arq., Doctoranda PPGEC-UFSC, ngiraldov@gmail.com, LATWorkshop

(5) Arquitecta, jpsierran@unal.edu.co

(6) Arquitecto, pipegallego17@gmail.com

(7) Arquitecto, info@studioarea4.com, Studio area4, Colombia

(8) Arquitecta Magister, arqcarolcarvalho@gmail.com, Universidade do Vale do Itajaí

(9) Arquitecto Magister, marcelo@galafassi.com.br, Universidade do Vale do Itajaí

### **RESUMEN**

A través del Concurso Público Nacional Brasileiro para el diseño arquitectónico del “Novo Centro Administrativo do Maranhão” se pretendía reorganizar, complementar y ampliar el actual complejo de edificios. Se presentó una propuesta hecha por un grupo interdisciplinar de oficinas de Brasil y Colombia. La metodología de diseño incluyó reflexiones bioclimáticas desde las primeras etapas de diseño, lo que permitió al equipo de diseño resolver los problemas estéticos, funcionales y técnicos en concordancia con los requisitos de sombreado, iluminación y ventilación. La propuesta final demostró tener un buen desempeño ambiental a través del análisis realizado con la etiqueta brasilera de eficiencia energética para edificios, además de poseer interesantes atributos espaciales y estéticos.

Palabras Clave: simulación computacional, arquitectura bioclimática, desempeño de edificios.

### **ABSTRACT**

The Brazilian National Public Contest for the architectural design of the Novo Centro Administrativo do Maranhão (New Administrative Center of Maranhão) aimed to reorganize, retrofit and enlarge the actual building complex. A proposal made by a multidisciplinary group of offices from Brazil and Colombia was presented. The design methodology included bioclimatic reflections from the early stages of design allowing the design team to solve aesthetic, functional and technical issues in concordance with the shadowing, luminance and ventilation requirements. The final proposal showed a good environmental performance analyzed through the Brazilian energy efficiency building label in addition to the spatial and aesthetic attributes.

Keywords: computer simulation, bioclimatic architecture, building performance.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Secretaria de Estado, El Gobierno del Estado de Maranhão y el instituto de Arquitectos de Brasil (IAB-DF) promovieron y organizaron un concurso de proyectos de Arquitectura para el Nuevo Centro Administrativo de Maranhão.

A través del Concurso Público Nacional Brasileiro para el diseño arquitectónico del Novo Centro Administrativo do Maranhão se pretendía reorganizar, complementar y ampliar el actual complejo de edificios. El centro administrativo es la sede principal del gobierno del Estado y se encuentra en la ciudad de São Luís (latitud 2°31'S, longitud 44°18'O y altitud de 4 metros sobre el nivel del mar), Estado de Maranhão, Noreste de Brasil. Los tres edificios existentes suman 22.880m<sup>2</sup> de área construida y el área completa del predio es de 65.681m<sup>2</sup>, contemplando estacionamientos para carros, servicios, zonas verdes y circulaciones. Actualmente 4.100 personas trabajan en el Centro Administrativo y diariamente más de 3.000 personas visitan el complejo de edificios. Hay una demanda de más de 13.500m<sup>2</sup> de área construida, la cual podría resolverse a través de uno o varios edificios nuevos. Entre los aspectos conceptuales requeridos para el proyecto, se contempla la reducción del impacto ecológico (el uso racional del agua y la energía, la generación local de energía a través de fuentes renovables como la eólica, la solar y/o la biomasa) y el confort ambiental de los usuarios (iluminación natural, comodidad térmica, adecuada selección de materiales de construcción, reducción del uso del aire acondicionado, etc).

Sobre esta base, un grupo multidisciplinario de tres oficinas de Brasil y Colombia presentó una propuesta arquitectónica.

## 2. OBJETIVO

Este artículo busca presentar el proceso metodológico adoptado por el equipo multidisciplinar que realizó una propuesta arquitectónica para el concurso arquitectónico del Nuevo Centro Administrativo de Maranhão.

## 3. MÉTODOLOGÍA

La metodología de diseño incluyó reflexiones bioclimáticas desde las primeras etapas de diseño, generadas por un equipo multidisciplinario y orientadas hacia la resolución de problemas estéticos, funcionales y técnicos en concordancia con los requisitos de sombreado, iluminación y ventilación.

El clima de São Luís es tropical, cálido y húmedo con una temperatura media del aire de 26,1°C y con temperaturas medias máximas y mínimas de 30,4°C y 23,2°C, respectivamente. De acuerdo con la Norma Brasileira NBR 15220-3 (2005), la ciudad de São Luís está ubicada en la Zona Bioclimática 8, en la que se recomienda tener ventilación cruzada cuando las condiciones exteriores sean favorables y considerar el entorno y los vientos predominantes de la región. Además de esta estrategia pasiva de confort térmico, existe la necesidad de tener enfriamiento mecánico para aliviar la sensación de incomodidad por el calor en determinados momentos del día.

El proceso de diseño comenzó con el análisis del clima de São Luís y la identificación de las estrategias más adecuadas para lograr un edificio de alto rendimiento ambiental en esa ciudad. En paralelo, se hizo una revisión de proyectos construidos en otros lugares que enfrentaran a problemas similares. De este modo, fue posible guiar los avances de diseño en función de las condiciones ambientales que se esperaban obtener, evitando la imposición de criterios estéticos en un contexto en el que los mismos podrían no ser adecuados.

Todas las estrategias de diseño adoptadas en el proyecto responden a múltiples aspectos, siendo lo estético sólo uno de los objetivos que el proyecto debía alcanzar. Los elementos que se incorporaron por su aspecto funcional, fueron refinados posteriormente en su aspecto estético; y los que fueron tomados por una intención estética, se optimizaron para cumplir un buen desempeño funcional y ambiental.

Módulos horizontales de perfilería y de paneles fotovoltaicos fueron utilizados en las fachadas con el fin de proteger la gran superficie acristalada de las incursiones solares. Los módulos fotovoltaicos también se utilizaron en los techos para generar electricidad a partir de energía solar.

Los materiales de los componentes de las paredes, techos y cielos cumplen las condiciones establecidas por la Regulación RTQ-C Técnica de Brasil (2010) para la Zona Bioclimática 8.

El sistema de iluminación artificial fue diseñado para reducir el consumo de energía: la división de circuitos en áreas más pequeñas, el uso de la luz natural, así como el sistema de protección. El control de la iluminación artificial se realizó a través de un sistema regulador, basado en los valores de la luz natural, con un nivel mínimo de iluminancia de 500 lux en el plano de trabajo.

Debido a los recientes problemas de abastecimiento de agua en São Luis, fueron recomendadas y adoptadas alternativas para ahorrar agua. En el proyecto, el agua recogida a través del sistema de

reaprovechamiento de aguas lluvias sería utilizada para el riego de jardines, limpieza del edificio y uso de equipos o aparatos de bajo consumo de agua, fueron las estrategias adoptadas para ahorrar agua potable. Debido al gran número de usuarios dentro de los edificios del proyecto, además del considerable período sin lluvias, el uso del agua pluvias para ser utilizado en las unidades de servicios sanitarios sería inviable. El potencial de ahorro de agua fue estimado utilizándose el programa computacional Netuno (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2011).

Las simulaciones computacionales llevadas a cabo en programas tales como EnergyPlus, Ecotect y Daysim, se realizaron a lo largo del proceso de diseño, permitiendo evaluar la conveniencia de diferentes aspectos constructivos y ayudando en el proceso de toma de decisiones. Se consideraron dos modelos: a) un caso de referencia, que opera con la iluminación artificial y sistema de aire acondicionado durante el período de ocupación, y b) otro caso, teniendo en cuenta la integración de la luz natural y la luz artificial con ventilación híbrida, alternando entre la ventilación natural y aire acondicionado con el fin de garantizar las temperaturas internas dentro de los límites de aceptabilidad de 90% de confort térmico indicado por el modelo adaptativo en la norma ASHRAE 55 (2013). La luz del día se analizó en Daysim acoplado a EnergyPlus; la iluminancia útil de luz del día se utilizó como índice de rendimiento de iluminación natural (Nabil y Mardaljevic, 2006). Los procedimientos de simulación de la ventilación híbrida y de la simulación integrada (Daysim y EnergyPlus) fueron basados en el trabajo de Rupp (2011) e Rupp e Ghisi (2013).

La eficiencia energética de los edificios se evaluó mediante el Reglamento Técnico Brasileiro para Edificios Comerciales y Servicios Públicos - RTQ-C (2010). El proyecto se analizó en cuanto a su envolvente, el sistema de iluminación artificial y aire acondicionado y se contempló la incorporación de otras estrategias para reducir el consumo de energía y agua del edificio.

#### 4. RESULTADOS

La propuesta final se puede ver en la Figura 1.



Figura 1. Vistas desde el nivel del peatón a) Sureste, b) Calle interna en el Sur y c) vista aérea.



#### 4.1. Propuesta Urbana

El espacio público del complejo ofrece buenas condiciones de sombra urbana, lo que permite la creación de lugares agradables para caminar y permanecer. En la Figura 2a puede verse en color azul las zonas con pocas horas de radiación solar y en rojo aquellas donde incide la mayor cantidad de radiación. La baja ocupación en la planta baja de los edificios y la disposición de los árboles (Figura 2c), permitió generar áreas urbanas que favorecen la circulación del viento urbano. En la Figura 2b, las zonas de color azul claro indican los espacios con mayor movimiento del aire, considerando vientos procedentes desde el noreste con una velocidad media de 3,33 m/s.

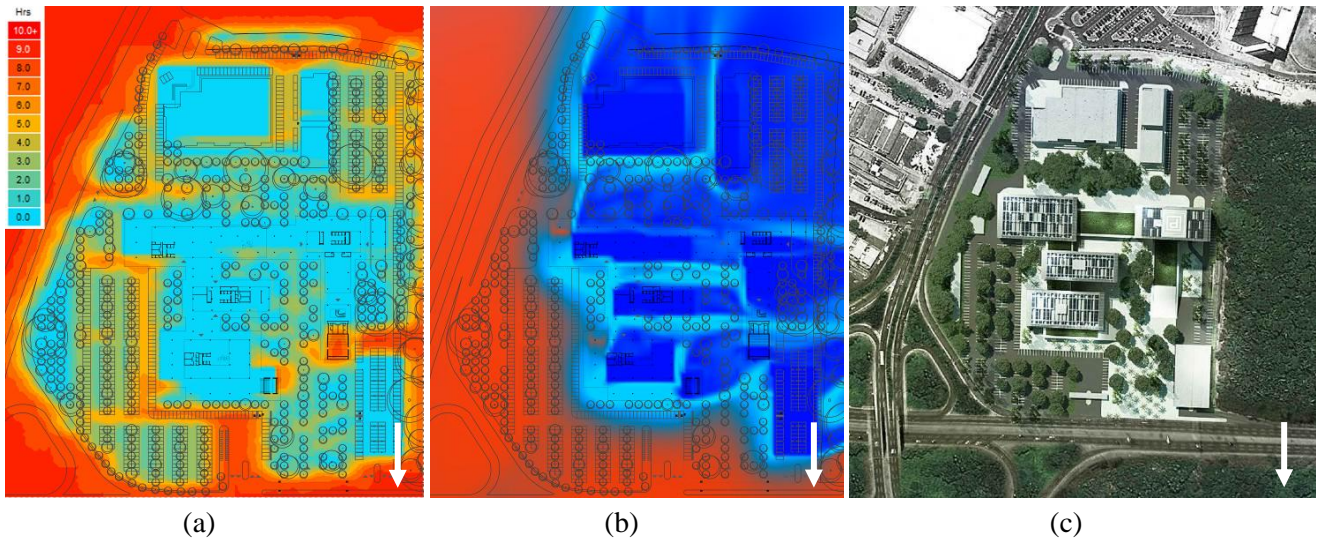


Figura 2. Vistas en planta de todo el complejo a) Desempeño de la radiación solar, b) Desempeño ventilación del zócalo urbano con vientos predominantes, c) Propuesta urbana. El Norte está ubicado en el costado inferior de las imágenes.

#### 4.2. Protección contra la radiación solar

La orientación de las fachadas más grandes hacia el Norte y el Sur, disminuye la exposición a la radiación solar directa y permite un mejor uso de la luz natural en los espacios interiores (Fig. 3a). La incidencia solar se controla a través de perfiles que varían según la fachada en la cual están ubicados, ofreciendo un ángulo vertical de protección igual a  $60^\circ$  en la orientación Este-Oeste y un ángulo vertical de  $30^\circ$  en la orientación Norte-Sur (Fig. 3b). Cuatro modulaciones de perfiles fueron propuestas con el fin de generar terrazas y pérgolas en las fachadas Este y Oeste, lo que brindó la posibilidad de enriquecer el diseño de la fachada con diferentes combinaciones de elementos y al mismo tiempo mantener el ángulo solar de protección recomendado.

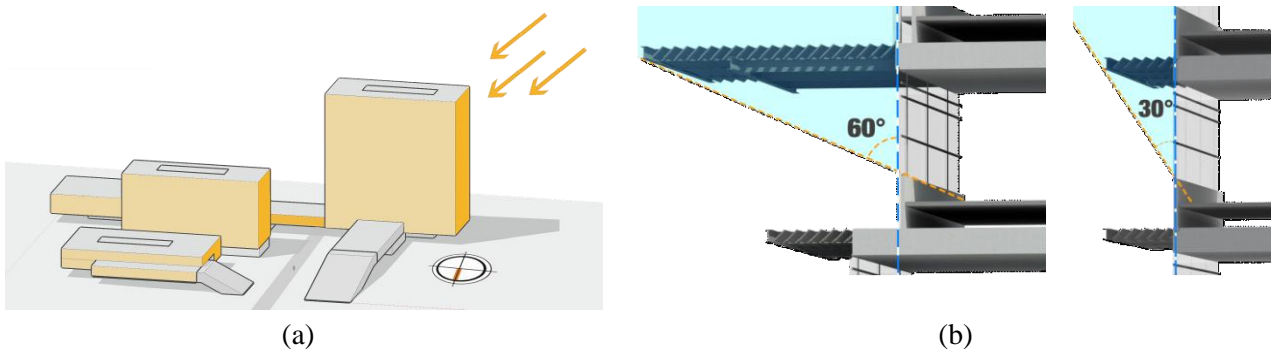


Figura 3. a) Disminución de la exposición a la radiación solar, b) Elementos de sombreado Oeste-Este y Norte-Sur.

#### 4.3. Estrategias térmicas pasivas y activas

El proyecto contempla varias estrategias para el acondicionamiento térmico en función de las condiciones climáticas externas y los requisitos de los espacios interiores (Fig. 4b).

Todas las fachadas de los edificios tienen ventanas ubicadas de tal manera, que sea posible tener ventilación cruzada en los espacios interiores; para lograrlo se dispuso un diseño interior de planta abierta en la mayor cantidad de pisos de los edificios (Fig. 4d). Debido a que las fachadas más grandes de los edificios están orientadas hacia Norte y Sur, la dirección predominante del viento (NE) es aprovechada de manera eficiente en la ventilación natural de los espacios (Fig. 4a).

Previendo momentos en los que se tengan velocidades de viento bajas o espacios que no estén ubicados en pisos de planta abierta, las fachadas en vidrio poseen cuerpos móviles a diferentes alturas, permitiendo que el aire se mueva a partir de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio.

Las ventanas son controladas por un sistema automatizado, el cual permite abrirlas cuando el aire posea una temperatura adecuada y/o no esté ingresando lluvia al interior. Dicho sistema permite además, tener ventilación nocturna con el fin de enfriar la masa interior incluso cuando no se utiliza el edificio.

Cuando la ventilación natural no es una estrategia adecuada debido a las altas temperaturas o la lluvia, el edificio se enfría a través de un sistema de aire acondicionado con distribución de aire bajo el suelo. Este sistema enfría de manera eficiente la zona habitada por los ocupantes, permite controlar la cantidad de aire suministrado en diferentes espacios de una misma planta y reduce el consumo de energía.

La alta eficiencia de los dispositivos de sombreado, ayuda a reducir la ganancia de calor del edificio. En la Figura 4c se puede ver la distribución de la exposición solar directa en promedio anual día-hora entre 07:00-17:00h; como puede verse en las zonas de colores cálidos, sólo un pequeño porcentaje de la planta está expuesta a la radiación solar.

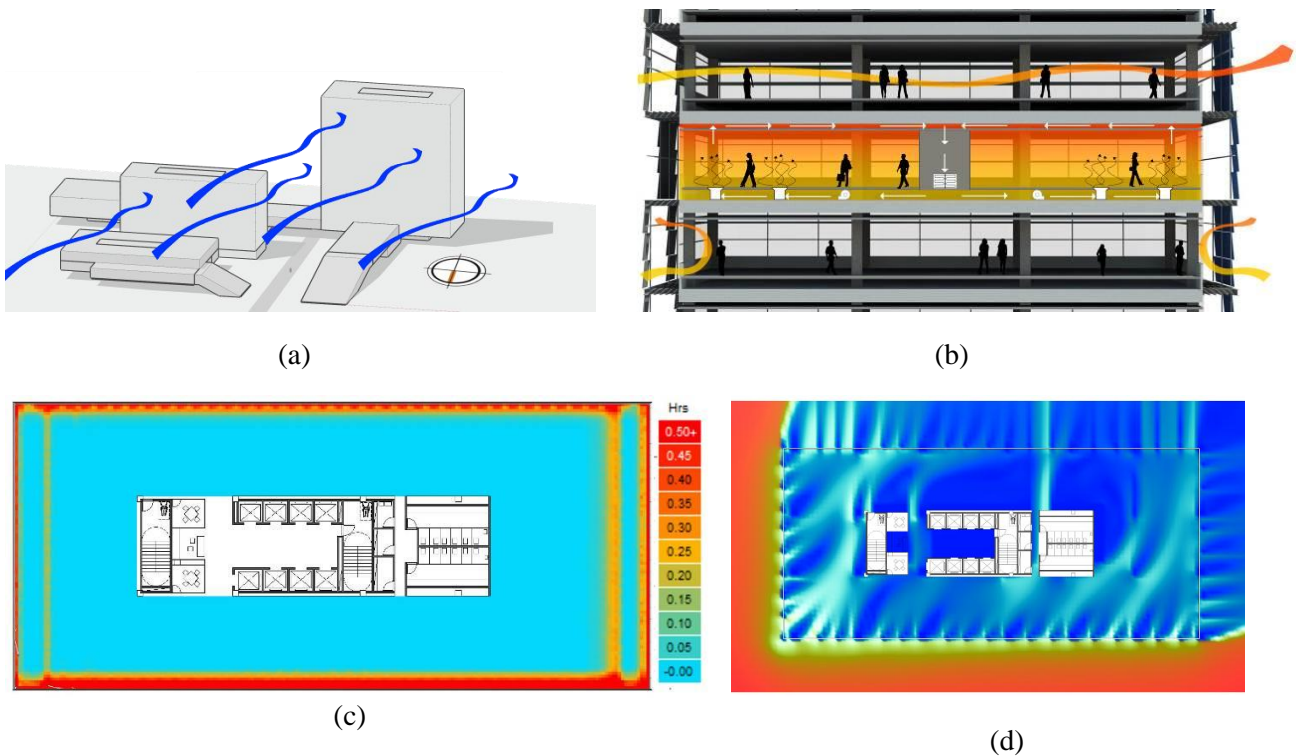


Figura 4. a) Aumento de la exposición al viento, b) Estrategias pasivas y activas para acondicionamiento térmico, c) Exposición interna al sol en planta abierta típica del nuevo edificio, d) Circulación interna del viento en planta abierta típica del nuevo edificio

#### 4.4. Estrategias de iluminación

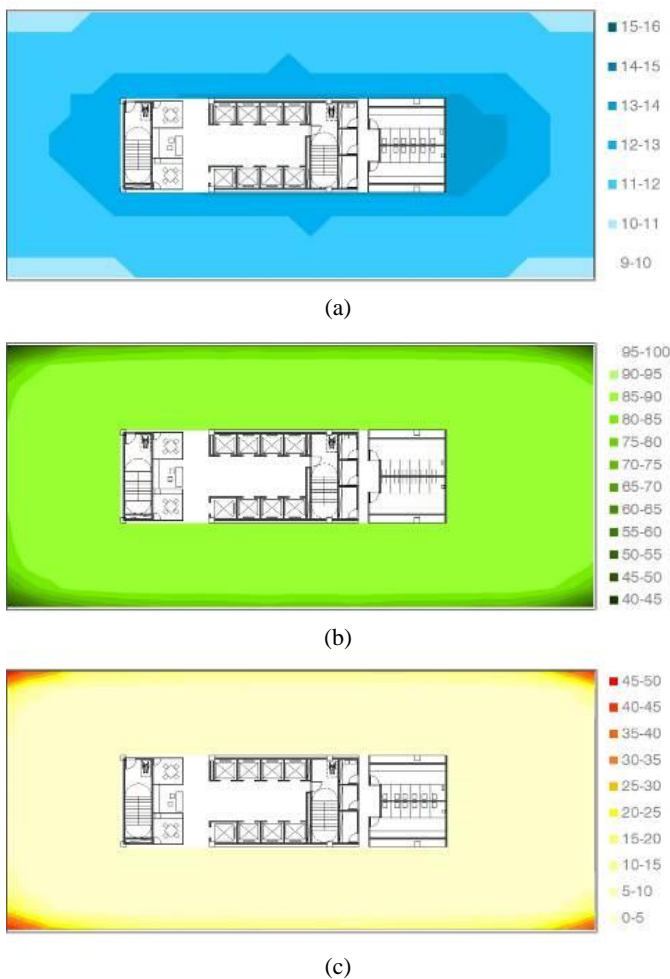


Figura 5. Piso tipo de planta abierta del edificio propuesto.  
a) Rango UDI insuficiente, b) Rango UDI útil, c) Rango Excesivo de UDI. Norte está abajo en las imágenes.

La distribución espacial interna se realizó en función de la disponibilidad de luz natural, ubicando los espacios de ocupación permanente en las zonas con altos niveles de iluminación, mientras que aquellas que eran de transición estaban ubicadas hacia el interior del piso. En la Figura 5 puede verse la iluminancia útil de luz del día (UDI) para un piso de planta abierta típica del nuevo edificio propuesto. Los resultados de UDI expresan con qué frecuencia (por ejemplo, porcentaje del año laboral, es decir, el período de la ocupación) se capta la luz del día sobre el plano de trabajo: valores de iluminancias menores a 100 lux representan una caída corta del rango útil, entre 100 a 2000 lux se tiene el rango útil y por encima de 2.000 lux se excede el rango útil, lo cual puede causar deslumbramiento (Nabil y Mardaljevic, 2006).

La Figura 5a muestra que sólo una pequeña zona central (azul oscuro) presentó UDI insuficiente en más de un 15% del año laboral. El área más grande de la planta tiene un UDI en el rango útil de aproximadamente el 85% (Fig. 5b). El rango excesivo de UDI ocurrió cerca de la fachada por un período corto (Fig. 5c). De este modo, el edificio puede operar con luz natural en la mayoría de las áreas.

#### 4.5. El potencial para el ahorro de energía y agua y la generación local de electricidad

El consumo de energía fue estimado a través de simulaciones en los programas EnergyPlus y Daysim. La generación fotovoltaica fue estimada en el programa computacional EnergyPlus. El consumo de energía del caso referencia y del caso con las estrategias propuestas y la generación de energía solar fotovoltaica pueden ser visualizadas en la Figura 6. La propuesta presenta un potencial de ahorro de energía de hasta un 65% en luz artificial (usando la luz del día) y hasta 37% en aire acondicionado (usando ventilación híbrida) con relación al caso de referencia, el cual opera con aire acondicionado e iluminación artificial – Figura 7. Las condiciones térmicas internas fueron mantenidas de acuerdo con la ASHRAE 55 (2013). El potencial de ahorro energético, considerando el consumo total alcanza un valor igual a 36% (Fig. 7).

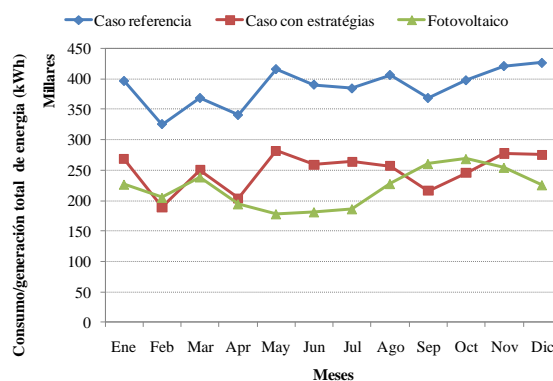


Figura 6. Consumo de energía del caso referencia y del caso con las estrategias propuestas y generación de energía solar fotovoltaica.



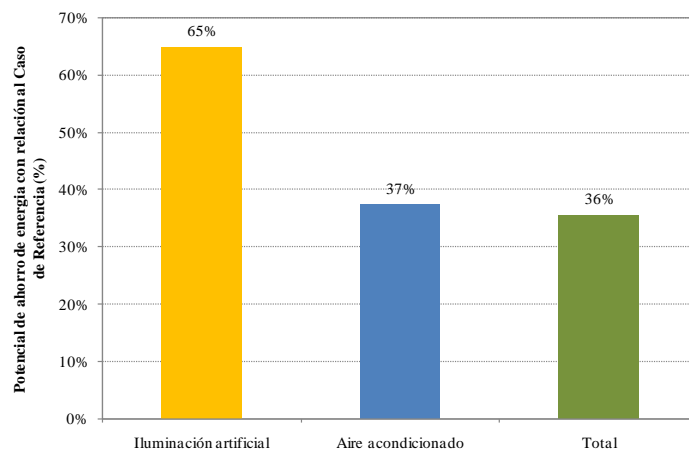


Figura 7. Potencial para ahorro energético a través del uso de luz natural, ventilación híbrida y demás estrategias bioclimáticas.

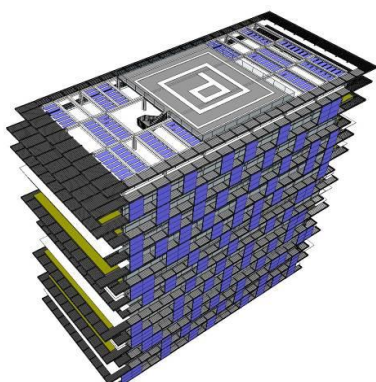


Figura 8. Sistema solar fotovoltaico sobre fachadas y cubiertas del edificio propuesto.

Los sistemas solares fotovoltaicos propuestos, integrados a las edificaciones del Nuevo Centro Administrativo de Maranhão (Fig. 8), estarían interligados a la red pública de energía y tendrían un buen potencial de generación de energía a lo largo del año. En promedio, el 90% de la energía consumida podría ser generada por paneles fotovoltaicos (Fig. 6). La menor generación sería durante el mes de mayo mientras que, en algunos meses, la energía generada supera el consumo estimado, llegando a 121% en el mes de septiembre.

De esa energía excedente (aproximadamente 45.000kWh para el mes de septiembre) podría ser comercializada a través de la concesionaria de energía de la ciudad de Maranhão (CEMAR). Durante los períodos en los cuales los edificios están desocupados (finales de semana y vacaciones), sería posible vender a la concesionaria el total de la energía generada por el sistema fotovoltaico.

Con las estrategias de aprovechamiento del agua pluvial, el potencial de economía de agua que podría haber sido alcanzado en irrigación y limpieza sería de 71%. Con los volúmenes del predimensionamiento de los reservorios, fue estimado que en aproximadamente 71% de los días del año la demanda de agua, por estos dos usos, podría haber sido cubierta. En 29% de los días restantes sería necesario el consumo de agua potable. Esto se debería a que el régimen de lluvias en São Luis es irregular y con pocas precipitaciones en agosto y noviembre (Figura 9).

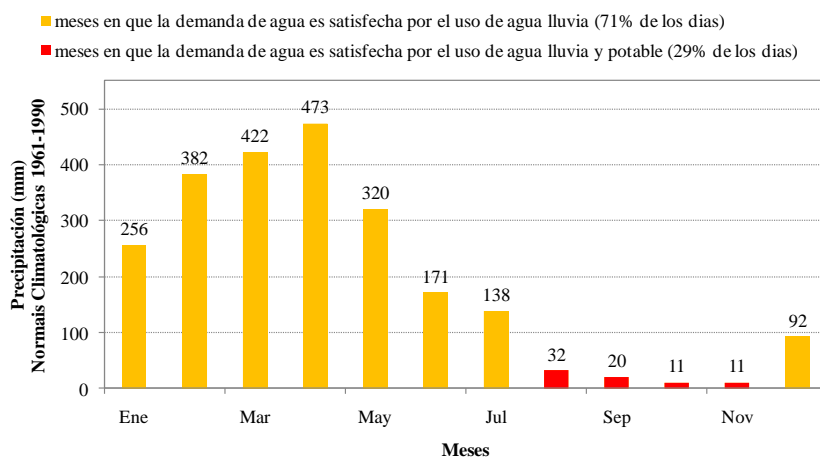


Figura 9. Precipitación mensual e indicación de los meses en que la demanda de agua es satisfecha por el uso de agua lluvia.

#### 4.6. Etiquetaje de edificios a través de la Norma Técnica Brasileira de Edificios Comerciales y de Servicios Públicos (RTQ-C)

La evaluación de la eficiencia energética fue realizada a través del Regulamento Técnico da Qualidade do Programa Brasileiro de Etiquetagem (RTQ-C) – Figura 10a. El proyecto (Figura 10b) fue analizado en lo que se refirió a la envolvente, con indicaciones para evaluación de los sistemas de iluminación y aire acondicionado, además de bonificaciones de uso racional de agua, energía solar fotovoltaica e innovaciones tecnológicas.

**ENVOLVENTE:** La abertura contabilizada en el PAFt (porcentaje del área de abertura en la fachada total) fue la parcela de vano vidriado visto ortogonalmente a través de los montantes de los paneles solares fotovoltaicos. Las fachadas de la edificación contaban con elementos horizontales de sombreado y paneles solares fotovoltaicos. No fueron concebidas aberturas cenitales y sus cerramientos (paredes y cubiertas) atendían los prerequisites específicos del RTQ-C.

**ILUMINACIÓN:** El sistema de iluminación indicado atiende los criterios para garantizar el nivel de eficiencia A, pretendido, con las siguientes características: división de circuitos, contribución de luz natural, desligamiento automatizado del sistema de iluminación artificial. El control de la iluminación artificial fue realizado a través de un sistema con dimmers, basándose en los valores de luz natural, siendo el nivel de iluminancia mínimo a ser garantizado de 500 lux. Fueron escogidas luminarias con aletas y reflectores metálicos con 4 lámparas fluorescentes T5, de manera a garantir densidades de potencia instaladas menores de 10,5 W/m<sup>2</sup>, que es el límite para ambientes con uso de escritorio con planta libre.

**CONDICIONAMIENTO DE AIRE:** Para el sistema de aire acondicionado fue adoptado un sistema de aire central a través de VRF (sistema de flujo refrigerante variable).

**BONIFICACIÓN:** Reducción en el consumo de agua: la edificación cuenta con aprovechamiento de agua de lluvias para abastecer sanitarios y jardines, bien como hace el uso de equipamientos eficientes, garantizando ahorros superiores al 40%. Energía solar fotovoltaica: el sistema proyectado cuenta con un ahorro superior al 10%. Uso de luz natural: ahorros superiores al 30%.

Las estrategias empleadas en el proyecto permitieron al edificio alcanzar el máximo nivel de clasificación de la eficiencia energética de acuerdo con el RTQ-C – nivel A.

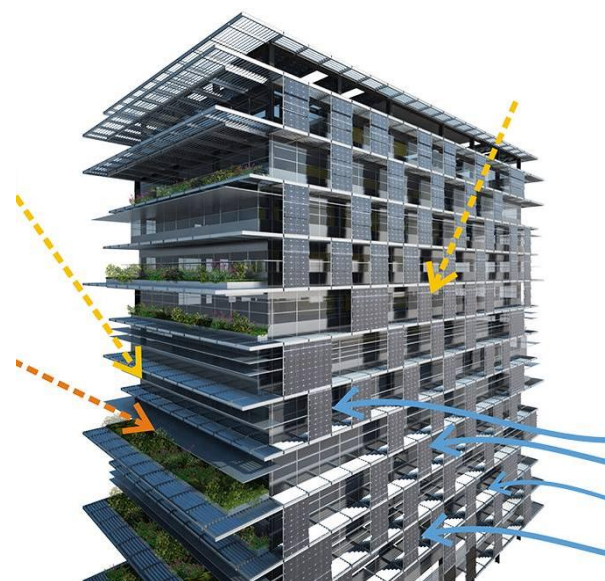


Figura 10. a) El formato de etiquetado RTQ-C para el edificio propuesto, b) Edificio evaluado.



## 5. CONCLUSIONES

La propuesta final alcanza un buen desempeño ambiental de acuerdo al análisis hecho con la etiqueta brasilera de eficiencia energética para edificios, además de que posee interesantes atributos espaciales y estéticos.

La integración obtenida entre las tres oficinas y sus profesionales, cada uno en un proceso de diseño específico, pero todos basados en conceptos de confort ambiental y eficiencia energética, ayudaron a que el proyecto alcanzara resultados significativos con respecto a la calidad formal, estética, técnica y funcional. Según Galafassi y Pereira (2013), mediante la incorporación de los conceptos de bioclimática y confort desde el principio del proceso, es posible mejorar efectivamente el rendimiento de energía del edificio sin generar daños conceptuales o estéticos.

Trabajar con un grupo multidisciplinario desde el inicio del proceso de diseño, fue esencial para obtener un proyecto riguroso e interesante, tanto en su aspecto técnico como estético.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RTQ-C**: Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2010.
- GALAFASSI, Marcelo; PEREIRA, Fernando O. Ruttkey. Energy Efficiency Regulations and the Process of Architecture Design of Buildings. **PLEA Conference 2013**, Munich.
- GHISI, E.; CORDOVA, M.M.; ROCHA, V. L. **Netuno 3.0. Programa computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2011.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. 2006. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, pp. 905-913.
- RUPP, R.F. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. p. 212. 2011.
- RUPP, R.F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 75–86, 2013.