



## **ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS ASSOCIADAS À SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO PROJETUAL EM CLIMA QUENTE SECO: APLICAÇÃO NO PROJETO DA PLATAFORMA SOLAR - PETROLINA/PE**

**Alice Rück Drumond Dias (1); Clara Ovídio Rodrigues (2); Marcela de Melo Germano da Silva (3); André William Carvalho Alves (4); Aldomar Pedrini (5)**

(1) Mestranda, Arquiteta e Urbanista, alicerdrummond@gmail.com

(2) Mestranda, Arquiteta e Urbanista, claraovidio@gmail.com

(3) Mestre, Arquiteta e Urbanista, marcelamgermano@gmail.com

(4) Bolsista LabCon/UFRN, Graduando de Arquitetura e Urbanismo, alves.andrecarvalho@gmail.com

(5) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, apedrini@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Natal - RN, 59072-970, Tel.: (84) 3215-3722

### **RESUMO**

O processo projetual que considera os aspectos da arquitetura bioclimática associada ao uso de simulação termo-energética auxilia na produção de edificações com melhor desempenho térmico e menor impacto ambiental e econômico. Para demonstrar a inserção de diretrizes de estratégias passivas e efficientização no projeto arquitetônico, o artigo tem como objetivo a discussão da sua aplicação na concepção do projeto do edifício sede da plataforma solar de Petrolina/PE. O método utilizado inicia o processo a partir da determinação das estratégias para o clima quente seco, associado a referências projetuais de condições climáticas semelhantes. Na fase de estudo preliminar foram definidas estratégias de resfriamento evaporativo, inércia térmica, sombreamento, isolamento térmico e ventilação convectiva, apropriadas ao clima local. Posteriormente, ainda na fase de anteprojeto, as decisões quanto aos sistemas construtivos e materiais utilizados foram analisadas sob o ponto de vista do desempenho térmico, impacto ambiental, tectônica e estética, embasados por simulações computacionais. Foi realizado diagnóstico do nível de eficiência energética do edifício, a partir do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Os resultados das análises demonstram que a concepção voltada para as diretrizes bioclimáticas adequadas ao local e ao clima quente e seco levou ao êxito no desempenho energético do projeto do edifício da Plataforma Solar.

Palavras-chave: estratégias bioclimáticas, simulação computacional, processo projetual, eficiência energética, RTQ-C.

### **ABSTRACT**

The design process that considers bioclimatic architecture aspects associated with the use of thermo-energetic simulation assists on the creation of buildings with higher thermal performance and lower environmental and economic impacts. To demonstrate the insertion of passive strategies and efficiency in architectural design, this article aims to discuss their application in the conception of the Solar Platform of Petrolina/PE building design. The method used begins the process determining the strategies for hot dry climate, based on design references from similar climatic conditions. In the preliminary stage of the design process was determinate evaporative cooling effect, thermal mass, shading, insulation, passive convective ventilation, all appropriated to the local climate. On the next design process stage, decisions related to buildings materials and construction systems used were analyzed from the standpoint of thermal performance, environmental impact, tectonic and aesthetic, supported by computer simulations. The diagnosis of the level of the building energetic efficiency, using parameter of the Technical Regulations for labeling quality level of energy efficiency in public, commercial and service buildings (RTQ-C) were

performed. The analysis results show that the design oriented by bioclimatic's guidelines appropriate to the site and the hot and dry weather has taked to success on energy performance of the building design of Solar Platform.

Keywords: bioclimatic strategies, computering simulation, design process, energy efficiency, RTQ-C.

## **1. INTRODUÇÃO**

A eficiência energética na arquitetura é um aspecto cada vez mais relevante diante do paradigma ambiental e crise energética. É possível reduzir consideravelmente o consumo de energia de uma edificação, principalmente quando incorporadas práticas de racionalização desde o início da concepção projetual. Um meio de obter esta eficiência na arquitetura é utilizando as recomendações bioclimáticas, estratégias que visam tratamento da envoltória adequado à condição climática local, otimizando as trocas térmicas para o conforto dos usuários (GIVONI, 1998).

O projeto de arquitetura deve ponderar o impacto das decisões de implantação, forma e orientação, disposição de aberturas e seleção de materiais. Hegger (2003) coloca que a observância de tais elementos pode fazer da arquitetura a estratégia mais efetiva de conservação de energia em edifícios.

O Brasil passa atualmente por uma fase de crescente incentivo das práticas de efficientização, principalmente por iniciativa do governo federal que estabelece em fase voluntária, com objetivo de ser compulsória, a etiquetagem de edifícios. A etiquetagem qualifica a eficiência energética da edificação de nível "A" mais eficiente ao nível "E" menos eficiente, estabelecendo critérios mínimos e parâmetros de desempenho. Para os edifícios comerciais, de serviço e públicos os critérios estão estabelecidos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) cujos principais sistemas avaliados são a envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

As simulações termo-energéticas constituem ferramenta capaz de prever o comportamento térmico da edificação permitindo quantificar o impacto de decisões arquitetônicas. Pode ser incorporada para orientar decisões de projeto e confirmar desempenho esperado quando aplicadas as recomendações bioclimáticas. Neste contexto, os princípios bioclimáticos, a simulação termo-energética e as exigências mínimas de eficiência energética para projetos podem ser empregadas para suporte da prática de arquitetura mais adequada ao local e ao clima, eficientes energeticamente.

## **2. OBJETIVO**

Este artigo tem como objetivo a discussão da aplicação das estratégias bioclimáticas durante o processo de concepção projetual do edifício sede da plataforma solar de Petrolina/PE, bem como a análise dos resultados quanto ao desempenho termo energético do modelo e o nível de eficiência energética conforme RTQ-C.

## **3. MÉTODO**

O projeto arquitetônico do edifício Sede da Usina de Painéis Fotovoltaico de Petrolina/PE foi desenvolvido e avaliado com base nos princípios bioclimáticos para o clima quente e seco e nos requisitos e especificações estabelecidos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, Portaria nº 372. O desenvolvimento e análise do projeto contou com o apoio da equipe do LabCon-UFRN. Ao final do processo projetual, foram realizadas simulações termo-energéticas com fins de confirmar o desempenho térmico e o nível de eficiência energética da edificação. O trabalho foi dividido em duas etapas principais: a discussão das estratégias bioclimáticas aplicadas ao projeto e a análise dos resultados gerados pelos softwares específicos para cada campo de estudo: iluminância dos ambientes (RELUX PRÓ, 2010); sombreamento das aberturas (SOLAR TOOL, 2011) e nível de eficiência energética (DESIGNBUILDER, 2009).

### **3.1. Caracterização do objeto**

O projeto arquitetônico do Edifício Sede da Plataforma Solar tem como principal função abrigar as atividades pesquisa e extensão auxiliares da central fotovoltaica, o alojamento de pesquisadores, e a recepção de visitantes. Encomendado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), a implantação do projeto está prevista para a cidade de Petrolina/PE. A área construída total é de 769,50 m<sup>2</sup>, distribuídos em dois pavimentos. Por se tratar de uma edificação de múltiplos usos, optou-se pelo zoneamento do programa de necessidades por tipo de condicionamento dos ambientes. Os ambientes principais e de permanência prolongada são condicionados artificialmente (laboratório, auditório, sala de controle, sala de reuniões – em

azul na Figura 1, e os ambientes secundários e de permanência transitória não possuem condicionamento artificial (Gerador, Banheiros masculinos e femininos, Copa e cozinha, Despensa/DML, Lixo, Almojarifado, Dormitórios, Observatório, Estação meteorológica – em amarelo na Figura 1.

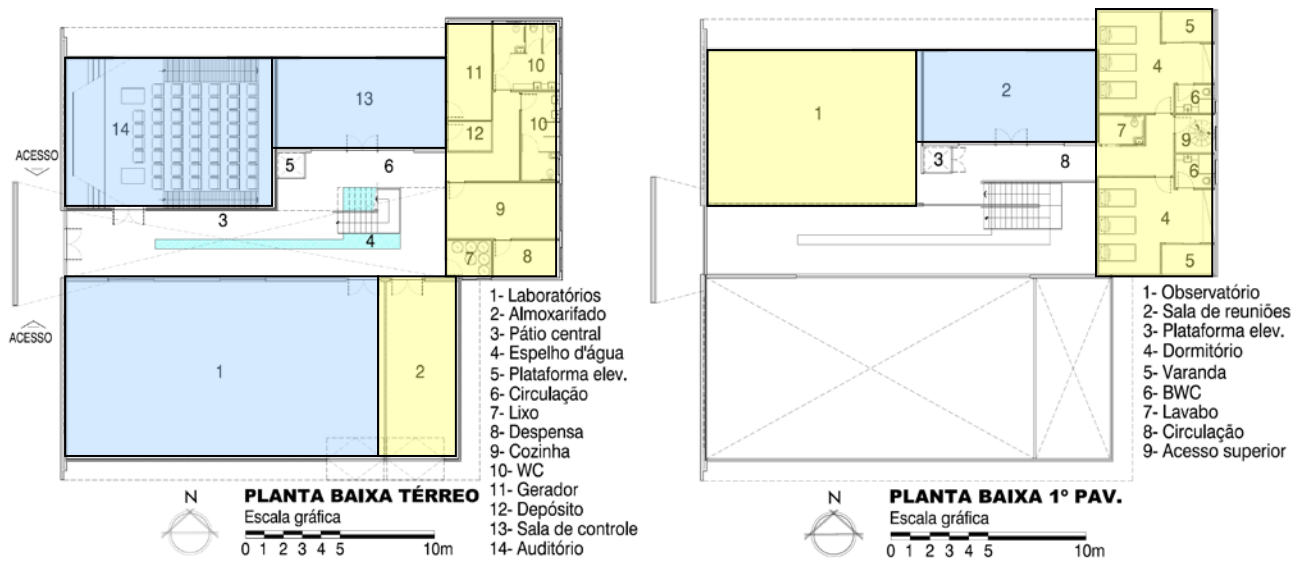
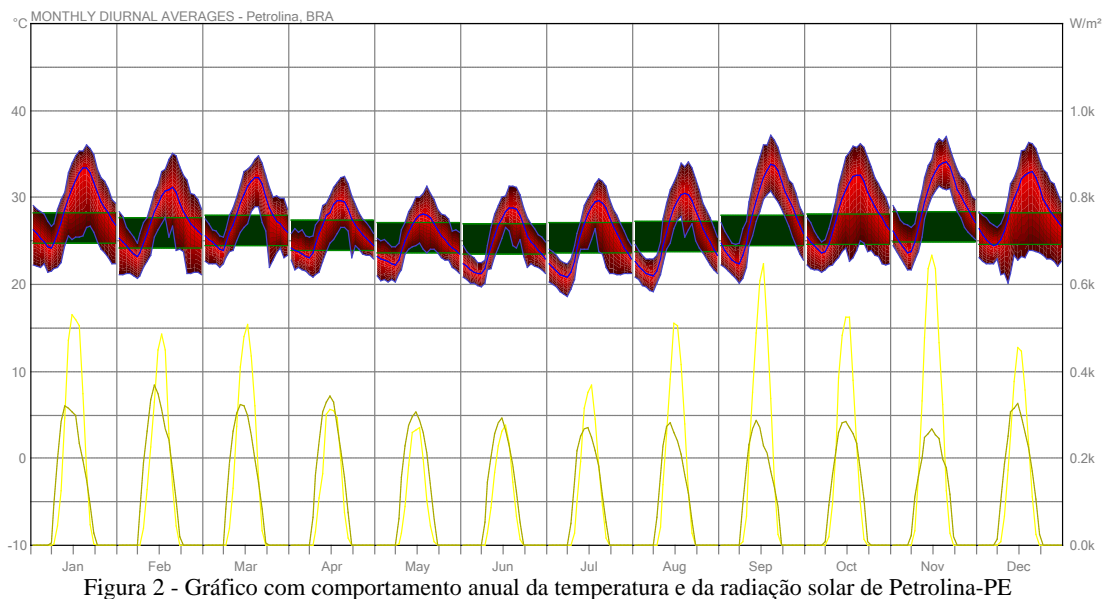


Figura 1 - Planta baixa do térreo (à esquerda) e do primeiro pavimento (à direita)

### 3.2. Estratégias bioclimáticas aplicadas ao projeto

A concepção projetual do edifício sede da plataforma solar em Petrolina/PE foi pautada inicialmente na aplicação de recomendações bioclimáticas. Um projeto com vistas à otimização de desempenho parte das características do clima, que se desdobram em estratégias passivas para aplicação no edifício. O partido arquitetônico adotado teve como premissa utilizar as potencialidades naturais, utilizar sombreamento, ventilação e iluminação natural, visando minimizar o uso de energia elétrica dos sistemas ativos – condicionamento artificial de ar e iluminação artificial.

A radiação solar na cidade de Petrolina e as amplitudes de temperatura do ar são altas, com valores médios anuais mínimos de 20,5° C e máximos de 32,1° C (EMBRAPA, 2006), conforme Figura 2. Com a baixa umidade do ar (65,9%), se caracteriza como um clima quente e seco (Figura 3). As variações diárias frequentemente implicam em desconforto ao calor durante o dia e conforto durante a noite (GIVONI, 1992, *apud* NEGREIROS, 2010).



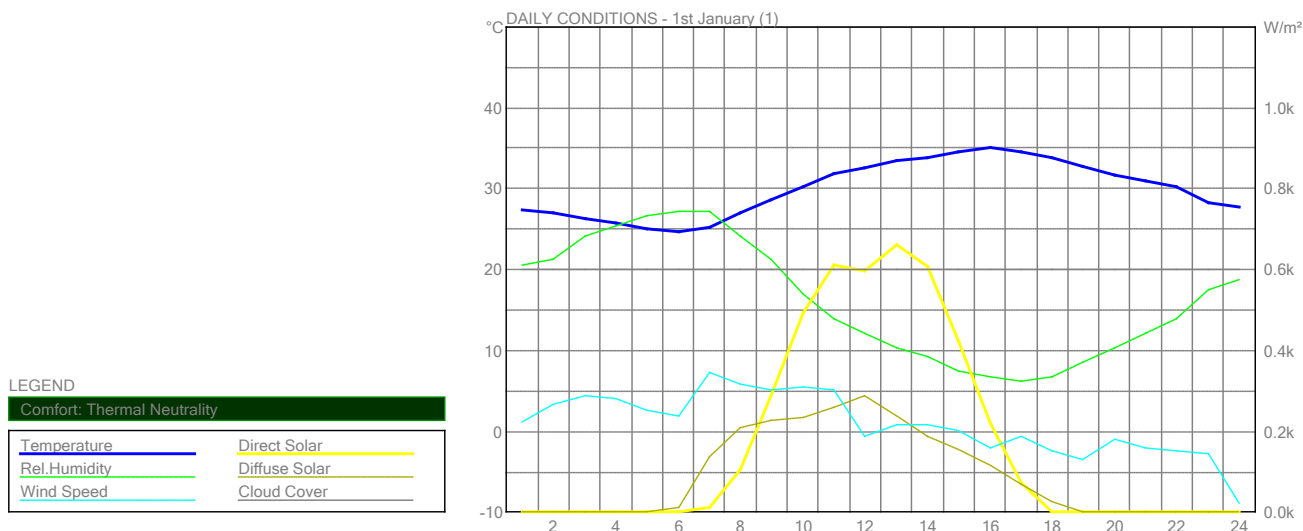


Figura 3 - Gráficos com comportamento horário do clima de Petrolina-PE

A interpretação dos dados climáticos de Petrolina/PE a partir do programa Analysis Bio (2003) indica como principais estratégias bioclimáticas do clima quente e seco: proteção contra a radiação solar, incorporação de inércia térmica, resfriamento evaporativo, resfriamento radiante, ventilação noturna e movimento do ar interno (Figura 4).

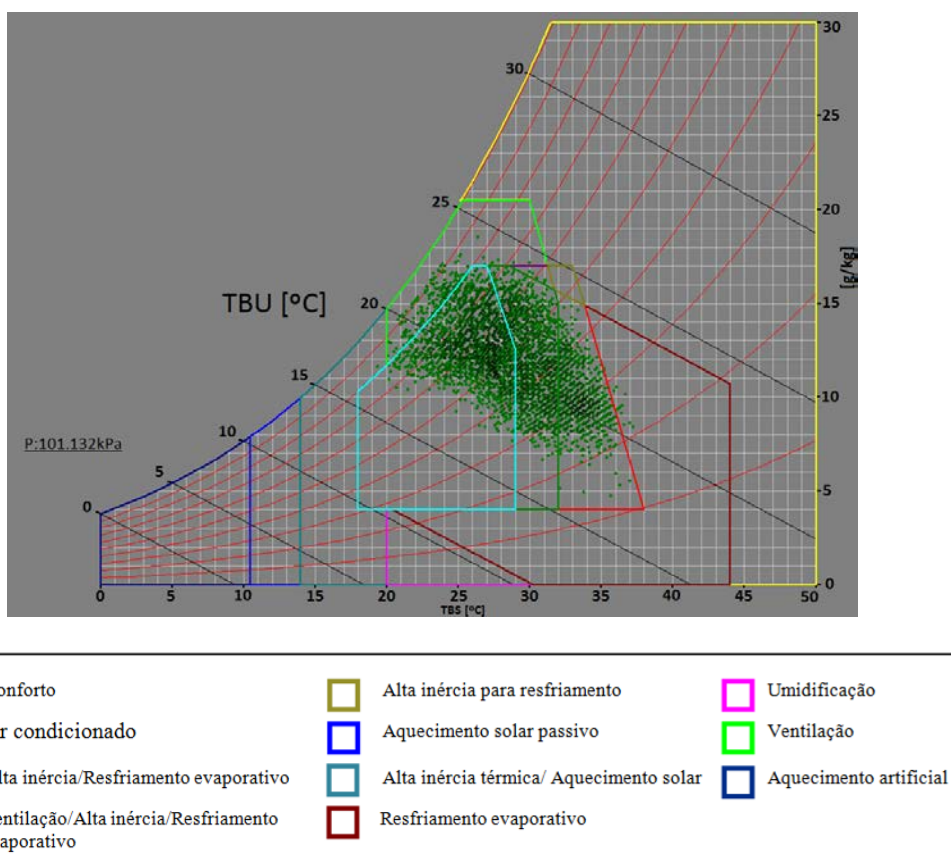


Figura 4 - Estratégias bioclimáticas para o clima quente e seco de Petrolina-PE (ANALYSIS BIO)

A partir das estratégias bioclimáticas, são desdobradas as seguintes recomendações arquitetônicas segundo Gonzalez (2004): beirais para sombrear as janelas e fachadas, esquadrias pequenas e protegidas, fachadas em cores claras para refletir a radiação solar, paredes grossas e pesadas para dar maior massa térmica e assegurar uma temperatura interior estável nos ambientes com condicionamento passivo, presença de pátios que permita a presença de vegetação (resfriamento evaporativo), presença de água em forma de fontes, espelho d'água.

A proteção solar tem como objetivo reduzir os efeitos da radiação do Sol, tanto sobre a construção, o que rapidamente provocaria o aquecimento do interior, assim como sobre os espaços abertos, com o intuito de criar microclimas agradáveis no entorno do edifício. Logo, as estratégias urbanísticas recomendadas são: presença de pátios auto-sombreados pelo próprio edifício, passeios estreitos, beirais que sombreiam as vias e entorno, presença de vegetação que permita o resfriamento evaporativo.

### **3.3. Estratégias para o desenvolvimento do projeto**

Foram aplicadas na fase de estudo preliminar as estratégias passivas de resfriamento evaporativo, inércia térmica e ventilação convectiva. Para racionalizar os sistemas construtivos, foi determinada a modulação dos ambientes e sistemas estruturais. A posição do edifício foi definida com maiores fachadas para norte e sul, visando minimizar o ganho térmico das aberturas, com maior facilidade de sombreamento conforme trajetória solar. Nas fachadas leste e oeste é minimizada a inserção de aberturas, também visando melhor desempenho térmico. Outro partido adotado foi o zoneamento dos ambientes por tipo de condicionamento de ar e uso.

As premissas para os ambientes de auditório e sala de reuniões é a flexibilidade para ampliação e integração visual com o pátio interno. O tratamento da envoltória foi diferenciado conforme a orientação das fachadas, sendo adotadas as seguintes premissas:

- Fachada oeste: Fachada cega para minimização da carga térmica advinda desta orientação, uso de sistema TecLev (paredes de concreto leve com recheio de EPS) para isolamento térmico dos ambientes condicionados que requerem rápido resfriamento
- Fachada Leste: uso de proteção solar nas aberturas para amenizar os ganhos térmicos do turno matutino exposto ao sol
- Fachada Norte: posicionamento do mirante e coroamento com os painéis fotovoltaicos integrados na cobertura, aberturas sombreadas.
- Fachada Sul – aberturas contínuas na porção superior da fachada para proporcionar iluminação natural, devidamente sombreadas.

Foi empregado pátio interno com espelho d'água, para aplicação da estratégia de resfriamento evaporativo. Esse foi configurado com uma abertura superior visando permitir movimento do ar por convecção (efeito chaminé) que promove a saída do ar quente e viciado dos ambientes sem condicionamento de ar, bem como a iluminação natural. É utilizada, ainda, inércia térmica a partir de paredes de grande espessura. Além disso, lançou-se mão das pequenas aberturas sombreadas, posicionadas para um melhor aproveitamento da iluminação natural. Nos ambientes condicionados, foram trabalhados isolamento térmico na parede e coberta (Figura 5). Tais reflexões iniciais rebatem desenho de geometria retangular, compacta, rasgada por pátio interno linear. Por fim, considerou-se a etiquetagem da edificação quanto à adequação das propriedades térmicas dos materiais dentro dos limites estabelecidos.

Com vistas a suprir as necessidades não atendidas pelas medidas passivas de conforto ambiental, propõe-se emprego otimizado da energia para atender as necessidades demandadas por uso específico de cada ambiente. Os painéis fotovoltaicos fornecem a demanda energética necessária à edificação.

A associação dos principais usos da edificação com as estratégias empregadas foram:

-Laboratórios: isolamento térmico das paredes externas, inércia térmica das paredes internas, abertura superior para o exterior sombreada – para a iluminação natural difusa e para dar noção de dia e noite, parede com poucas aberturas;

-Almoxarifado: isolamento térmico das paredes externas, inércia térmica das paredes internas, abertura estreita e superior para o exterior – para a iluminação natural difusa e para dar noção de dia e noite, parede com poucas aberturas;

-Auditório: isolamento térmico das paredes, emprego de condicionamento de ar híbrido, abertura sombreada e automatizada para contato visual com os painéis fotovoltaicos;

-Pátio central: pé-direito duplo, espelho de água para o resfriamento evaporativo, abertura superior para a saída de ar quente.

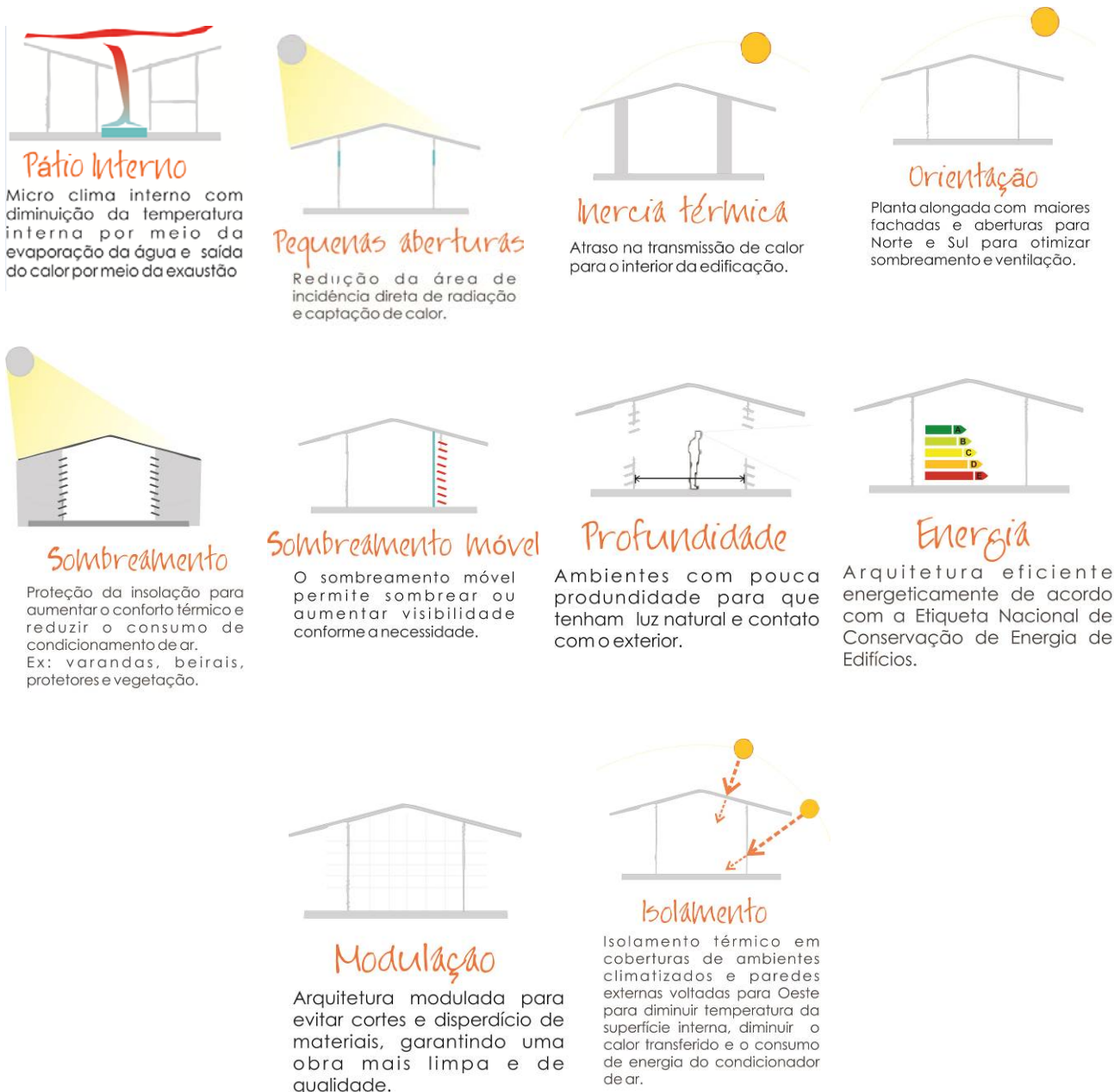


Figura 5 - Estratégias bioclimáticas aplicadas ao projeto

O resultado final do projeto visou conciliar as estratégias de desempenho com linguagem arquitetônica harmônica ao contexto seco do local.

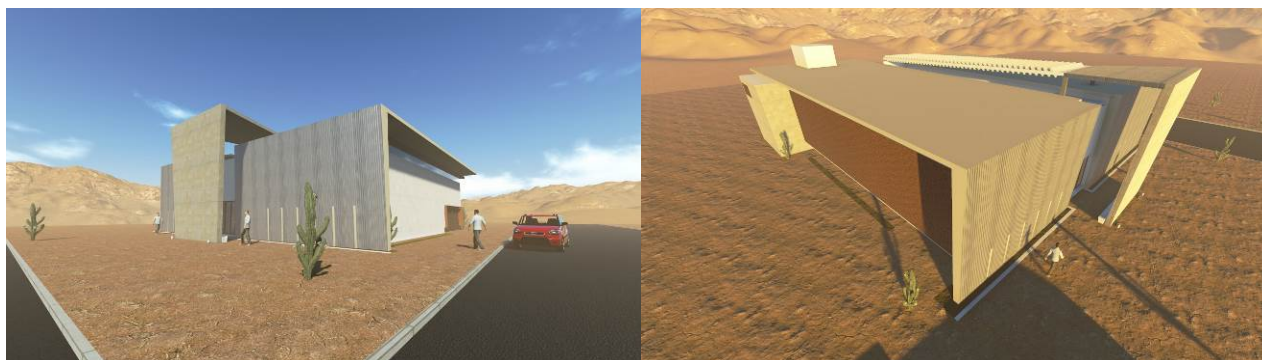


Figura 6 - Perspectivas do projeto

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para caracterização do conforto ambiental e desempenho energético do edifício, foram realizadas simulações referentes à iluminação natural dos ambientes, sombreamento das aberturas, diagnóstico do nível de eficiência energética conforme critérios do RTQ-C e comparação entre o consumo energético por metro quadrado entre o edifício projetado e um edifício que se utilize de técnicas convencionais.

### 4.1. Iluminação natural dos ambientes

Para a avaliação da iluminação natural, analisou-se o desempenho lumínico do laboratório, espaço de dimensão considerável e maior frequência de uso, simulado no software Relux Pro (2010). A modelagem foi realizada introduzindo os parâmetros geográficos de Petrolina (latitude: 09°, longitude: 40° e azimute das aberturas da fachada principal: 180°) com plano de referência a 0,75m de altura, céu claro e as características geométricas e de superfícies conforme projeto arquitetônico (piso com 70%, paredes com 90% de refletância e Fator Solar do vidro = 0,61).

O resultado das análises mapeia o nível de iluminância do plano de referência, que devem satisfazer os limites mínimos de iluminância para a atividade visual conforme prescrito na NBR 5413, neste caso para a atividade de laboratório (500 lux). Os ambientes foram simulados para situação de equinócio na data de 22 de março para os horários das 9-12-16 horas com tipo de céu claro, representativo da abóboda celeste do contexto climático.

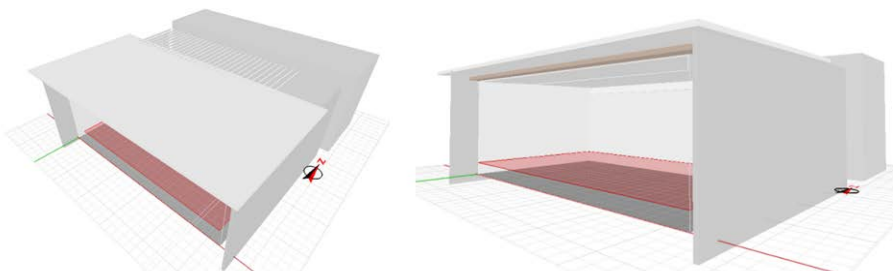


Figura 7 - Abstração do modelo do laboratório para simulação

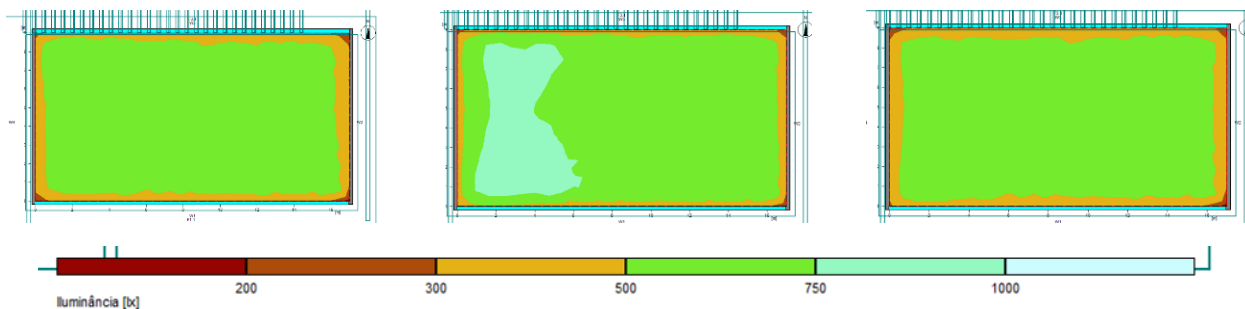


Figura 8 - Simulação às 9h, 12h e 16h, respectivamente

Os resultados apontam disponibilidade de iluminação natural acima do nível mínimo estabelecido; 100% da área central do ambiente é atendida com nível de iluminância acima de 500 lux; e a distribuição de iluminância possui grau elevado de uniformidade com relação de 1:1 entre iluminância mínima e média em todo o ambiente.

O resultado aponta que o ambiente com a configuração proposta (rasgos contínuos de 0,50 cm na parte superior nas orientações norte e sul) tem disponibilidade de iluminação natural adequada para execução de atividades de laboratório, e qualidade elevada pela distribuição uniforme de luz evitando ofuscamento, minimizando os gastos com iluminação artificial das 9:00 as 16:00 horas.

### 4.2. Sombreamento das aberturas

As proteções solares das aberturas dos ambientes de permanência prolongada foram dimensionadas a partir das máscaras de sombra pelo software Solar Tool (2011). Foram realizadas as análises das fachadas norte e

sul, uma vez que face leste compreende apenas as aberturas dos banheiros e a oeste é completamente opaca. O sombreamento na fachada sul é dado por uma marquise de um metro de profundidade que protege a abertura superior do ambiente. Na fachada norte foi adicionado uma segunda pele de chapa perfurada além da marquise de 1,50m de profundidade.

#### 4.2.1. Fachada Sul

A simulação indica que o desempenho do sombreamento contempla 100% de proteção solar das 7:00 da manhã às 17:00 horas, otimizando o desempenho térmico da edificação, minimizando os ganhos térmicos advindos da radiação solar direta. O encobrimento adicional da abóboda celeste visa equilibrar a iluminação difusa que incide no ambiente, trazendo nível luminoso adequado e redução do ofuscamento do contexto climático em questão, que possui abundância de luz natural.

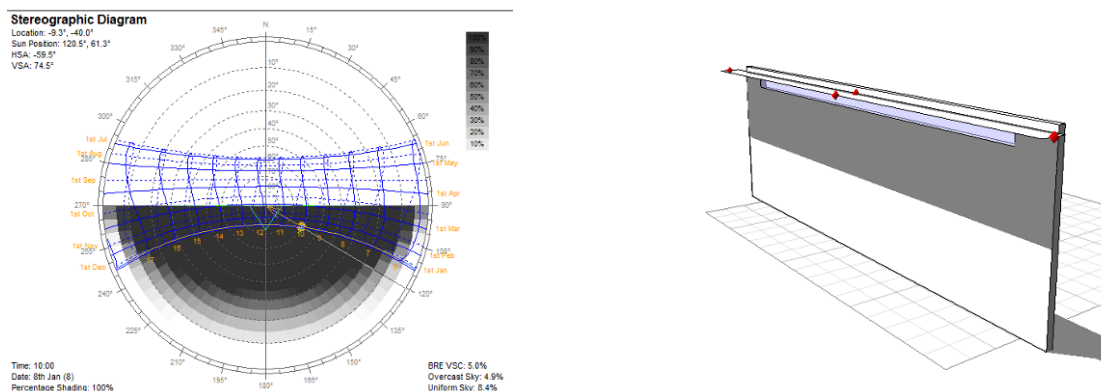


Figura 9 - Máscara de sombra (à esquerda) e abstração do modelo da abertura (à direita) da fachada sul

#### 4.2.2. Fachada Norte

A marquise da sala de reuniões na fachada norte, com profundidade de 1,50 metros, atende devidamente ao sombreamento da abertura das 8:00 às 15:30, com leve atenuação da eficácia nos meses de junho e julho, referente ao solstício de inverno, momento do ano em que o sol possui menor altura solar ao norte.

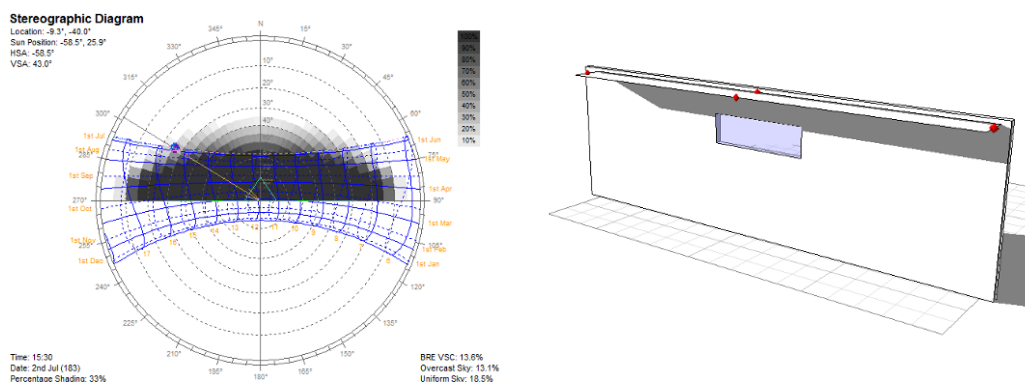


Figura 10 - Máscara de sombra (à esquerda) e abstração do modelo da abertura (à direita) para fachada norte

A partir das análises das máscaras de sombra foi possível inferir que o edifício em questão possui suas aberturas satisfatoriamente sombreadas, logo, a carga térmica advinda da radiação solar direta é quase que inexistente nas aberturas, possibilitando uma considerável economia energética para a edificação.

### 4.3. Cálculo do nível de eficiência energética

A etiquetagem da envoltória do edifício, conforme o RTQ-C, Portaria Inmetro nº372, foi realizada a partir da análise dos pré-requisitos e cálculo do Índice de Consumo da envoltória que atendem a zona bioclimática 07,



na qual se insere o edifício. Para análise do pré-requisito, as propriedades térmicas dos materiais empregados atendem os limites para o nível “A” de eficiência energética conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Transmitâncias e absorptâncias das paredes e cobertura

Elemento	Material/Sistema	Transmitância (U) W/m²K	Cor da superfície	Absortância (α)	Limites U e α para ZB07
Parede tipo 01	Parede dupla de blocos cerâmicos com câmara de ar	1,2	Alumínio	0,05	2,5 W/m²K /3,7 W/m²K e α < 0,50
Parede tipo 02	Bloco de concreto leve com camada interna de EPS	0,14	Areia	0,41	
Cobertura	Telha metálica tipo sanduiche (EPS) sobre laje de concreto	0,49	Alumínio	0,05	1,00 W/m²K (condicionado) e α < 0,50

O cálculo do nível de eficiência da envoltória utilizou o método prescritivo através da equação do Indicador de Consumo da Envoltória (Equação 1) utilizada para edifícios situados na Zona Bioclimática 07 e com área de projeção maior que 500m². A seguir, tem-se a referida fórmula:

Equação 1- Equação do IC para edifícios localizados na ZB7 e com área > 500m²

$$IC_{env} = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAF_T + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T.FS)} - 306,35$$

Os parâmetros levantados para determinação do Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de classificação da envoltória do edifício

CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO								
Área total de piso m² (Ape)	Área do edifício m² (Atot)	Área da envoltória m² (Aenv)	Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)	Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)	Percentual de Aber. na fachada (PAFT)	Volume total da edificação m³ (Vtot)	Fator solar (FS)	Indicador de consumo (IC)
523,33	1046,66	1196,10	20,82	5,09	0,06	3767,98	0,61	146,20

A aplicação da equação aponta um ICenv de 146,20. Ao compará-lo com os limites de cada nível de eficiência energética (Tabela 3), também estabelecidos pelo RTQ-C, a envoltória da edificação, que já havia atendido aos pré-requisitos do melhor nível, se enquadra no nível “A” de eficiência energética.

Tabela 3 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E	Fator Forma	Fator Altura
lim mín	-	149,72	154,71	159,71	164,70	0,32	0,60
lim máx	149,71	154,70	159,70	164,69	-		

#### 4.4. Simulação termoenergética

Com o objetivo de comparar o consumo por metro quadrado do edifício proposto (Figura 12) com um edifício convencional (Figura 11), lançou-se mão da simulação termo energética por meio do software DesingBuilder (2009). Para o modelo da edificação convencional considerou a geometria de um projeto desenvolvido para o mesmo local e com mesmo uso, mas sem utilização dos preceitos bioclimáticos nem do RTQ-C. Considerou-se, ainda, o material da cobertura como telha de fibrocimento com laje concreto de 20cm – transmitância 1,66 W/m²K – e vidro simples 3mm. Já para o modelo proposto, além da geometria eficiente, conforme descrito nos itens anteriores, utilizou-se telha sanduiche sobre a laje de concreto de 10cm e forro de gesso acartonado – transmitância de 0,49W/m²K - e o vidro verde 3mm.

O resultado da comparação apontou para uma redução de 147,83 kWh/m² do edifício convencional para 89,86 kWh/m² do edifício proposto, o que corresponde a aproximadamente 39% no consumo de energia por metro quadrado. Assim, observa-se que a incorporação de diretrizes bioclimáticas e dos requisitos do RTQ-C, durante o desenvolvimento do projeto, culminou na redução do consumo de energia do projeto

proposto. Vale salientar, que essa incorporação inclui a escolha de materiais mais adequados ao clima, além de reflexões que permeiam a implantação, volumetria e detalhamento do edifício.

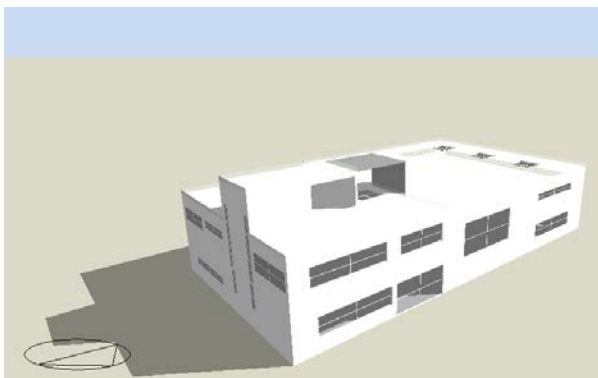


Figura 11: Edificação convencional.

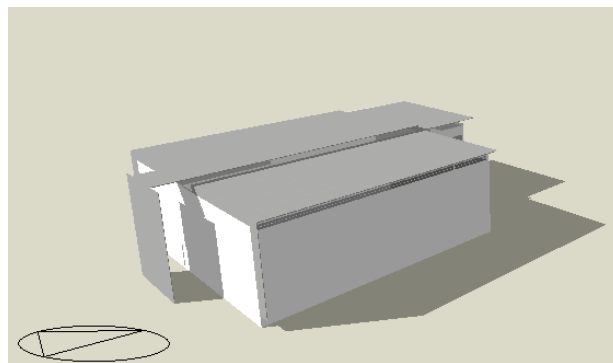


Figura 12: Edificação proposta.

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo demonstrou que a aplicação de recomendações bioclimáticas voltadas para o clima semiárido, característico da cidade de Petrolina-PE, comparada com as análises das simulações computacionais de desempenho lumínico, sombreamento das aberturas e do desempenho termo-energético proporcionou êxito quanto ao desempenho energético do projeto do edifício da Plataforma Solar. O diagnóstico do nível de eficiência energética apontou uma classificação de envoltória como nível “A” segundo a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a partir do método prescritivo de etiquetagem.

A construção civil é um setor da economia que consome energia na execução, no uso e manutenção ao longo de sua vida útil. Interferir no desenvolvimento do ambiente construído, a partir da inserção de diretrizes bioclimáticas e efficientização no estágio de concepção projetual, favorece o surgimento de edificação com melhor desempenho térmico e menor impacto ambiental. Iniciativas como o projeto do edifício sede da Plataforma Solar de Petrolina são úteis para divulgação destas práticas e como exemplo de concepção com adequação ao local e ao clima quente seco, resultando em eficiência energética na arquitetura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dados climáticos de Petrolina/PE. Disponível em: <http://www.pontal.org/docs/pensa.pdf>. Acesso em: 12/04/2013.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder**. Versão 3.0.0.105. 2000-2009.
- GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied, 1981.
- GONZALEZ, F. J. N. **Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible**. Madrid: Munilla-Ilería, 2004.
- HEGGER, M. **From Passive Utilization to Smart Solar Architecture**. In: C. Schittich (Ed.). In Detail: Solar Architecture. Munique: Detail - Review of Architecture e Birkhauser -Publishers of Architecture, 2003.
- LAMBERTS R. *et al.* **Analysis Bio**. Florianópolis, SC, 2003.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.
- OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1998.
- Portaria nº 181, de 20 de maio de 2010**. Requisito Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Brasília, DF, 2010.
- RELUX PRO. **Relux**. 2010
- SOLAR TOOL AUTODESK, INC. **Solar tool**. 2011

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL e à ELETROSUL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.