DESEMPENHO AMBIENTAL DAS MORADAS INFANTIS CANUANÃ - FUNDAÇÃO BRADESCO, EM FORMOSO DO ARAGUAIA, TOCANTINS

Letícia Hein Hsiao (1); Alessandra Prata Shimomura (2); Joana Carla Soares Gonçalves (3); Lucélia Rodrigues (4); Lorna Kiamba (5); Nikolaus Knebel (6)

(1) Graduanda FAU-POLI-USP, leticia.hsiao@usp.br, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rua do Lago 876, São Paulo, 05508-080, Tel: (11) 3091 4538

(2) Profa. Dra., arprata@usp.br, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rua do Lago 876, São Paulo, 05508-080, Tel: (11) 3091 4538

(3) Profa. Dra., joana.goncalves@aaschool.ac.uk, j.soaresgoncalves@westminster.ac.uk, Architectural Association School of Architecture, 36 Bedford Square, WC1B 3ES, Londres; University of Westminster, School of Architecture and Cities 309 Regent Street, W1B 2HW, Londres, Tel: (+44) 7470151053

(4) Profa Titular, Lucelia.Rodrigues@nottingham.ac.uk, University of Nottingham, Department of Architecture & Built Environment, Faculty of Engineering, Nottingham, NG7 2RD, Tel: +44 (0) 1159513176

(5) Profa Dra., Lorna.Kiamba@nottingham.ac.uk, University of Nottingham, Department of Architecture & Built Environment, Faculty of Engineering, Nottingham, NG7 2RD, Tel: +44 (0) 115 74 87169

(6) Prof. Dr. Nikolaus Knebel, nikolaus.knebel@gutech.edu.om, German University of Technology in Oman (gutech), Department of Urban, Planning and Architecture, Muscat, Oman, Tel: +96822061111.

RESUMO

O projeto das Moradias Infantis de Canuanã, concluído em 2016, na cidade de Formoso do Araguaia no Tocantins, tem sua arquitetura fortemente influenciada pelo clima local "de cerrado", caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa. Condições de conforto térmico e luminoso nos dormitórios foram avaliadas por meio de procedimentos analíticos de simulação computacional. Identificou-se nos dormitórios, durante o período mais quente do ano, valores de temperatura operativa ao redor de 10 ºC abaixo da temperatura externa, evidenciando a influência da massa térmica das paredes de adobe, combinadas à ventilação natural e ao sombreamento. A grande cobertura mostrou ter um papel fundamental na redução dos ganhos solares. Porém, o seu maior impacto foi visto no controle da luz natural, evitando a ocorrência de valores excessivos de iluminância junto às janelas. A síntese arquitetônica alcançada no projeto das Moradias Infantis de Canuanã, que valoriza especialmente o uso da madeira de reflorestamento e da arquitetura de terra, fez do projeto construído uma referência internacional da arquitetura bioclimática contemporânea para climas do tipo quente-seco com períodos mais úmidos.

Palavras-chave: estratégias passivas, clima quente-seco, desempenho luminoso, desempenho térmico, estudos analíticos.

ABSTRACT

The design project of *Moradias Infantis de Canuanã*, concluded in 2016, in the city of *Formoso do Araguaia* in *Tocantins*, has its architecture strongly influenced by the local savana climate, characterized by a hot-dry and a hot-humid season. Thermal and visual comfort conditions were assessed by means of analytical proceedures of computer simulations. It was identified in the bedrooms, during the hottest period of of the year, values of operative temperatures around 10 ºC below the external temperature, highlighting the influence of the thermal mass of the adobe walls, combined to the natural ventilation and shading. The role of the big roof in reducing solar gains was demonstrated. However, its main impact was seen in the control of daylighting, avoiding the ocurrance of excessive iluminance levels close to the Windows. The architectural synthesis achieved in the design of the *Moradias Infantis de Canuanã*, which gives value to the use of reforestation wood and earth-construction, in particular, made of this building an international reference of contemporary bioclimatic architecture of hot-dry with humid periods.

Keywords: passive strategies, hot-dry climate, daylight performance, thermal performance, analytical studies.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Estudo de caso: O projeto de arquitetura e as estratégias bioclimáticas das Moradias Infantis de Canuanã

O projeto das Moradias Infantis de Canuanã trata da reformulação da escola rural da Fazenda Canuanã, que acomoda de 540 crianças, alunos da Fundação Bradesco, englobando cerca de 23.000 m^2 de área construída. Concluído em 2016, na cidade de Formoso do Araguaia, no estado brasileiro de Tocantins, o projeto tem sua arquitetura fortemente influenciada pelo clima local "de cerrado", caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa, com temperaturas do ar elevadas ao longo do ano e significativas amplitudes térmicas, principalmente nos períodos secos, ultrapassando os 10 ºC. Blocos retangulares formam três pátios, lado a lado, todos sombreados por uma grande cobertura de estrutura em madeira e telhas metálicas, aberturas sobre os pátios e levemente inclinada e desconectada da envoltória dos blocos, agindo como uma segunda cobertura do complexo edificado que cria um espaço sombreado e ventilado sobre as acomodações dos edifícios. Os dormitórios estão localizados no térreo e um conjunto de salas de aula, uma biblioteca e outros espaços de convívio estão no nível superior.

Na busca por soluções arquitetônicas de inserção climática (as chamadas *soluções passivas*), que contemplem o conforto térmico e luminoso dos usuários sem o uso de sistemas ativos, lançou-se mão da combinação do amplo sombreamento e da ventilação natural, combinados a uma construção de elevada capacidade térmica, com o intuito de agregar inércia térmica aos ambientes internos para lidar com as altas temperaturas e amplitudes térmicas do clima local. Com respeito à inércia, a inspiração na construção regional (*arquitetura vernacular*), levou ao uso de tijolos de adobe sem cozimento, como é feito nas habitações tradicionais da região.

Combinado ao controle da passagem do calor do exterior para o interior exercido pela massa térmica, elementos vazados de tijolo, os conhecidos na arquitetura brasileira como *cobogós*, colocados nas faces externas e internas (em comunicação com os pátios) dos dormitórios, induzem uma ventilação natural constante que, no período noturno, auxilia no resfriamento passivo dos ambientes (além de resfriar a envoltória dos edifícios), em função das relativamente baixas temperaturas externas. Somado aos *cobogós*, janelas dos dormitórios para os espaços de transição e painéis móveis de madeira sobre portas e divisórias tem o potencial de incrementar o fluxo de ar da ventilação cruzada, quando desejável.

Olhando para o arranjo das formas arquitetônicas, os pátios favorecem a ventilação cruzada e a iluminação natural nos ambientes internos, enquanto a grande cobertura de madeira, que cobre todo o complexo edificado, sombreia lajes e paredes ao longo de todo o ano. Espaços abertos e de transição nos níveis térreo e de cobertura, onde foram localizados um conjunto de áreas de convivência e uso comum, também são protegidos contra o impacto direto da radiação solar, pelo grande plano de cobertura.

De forma geral, a ventilação natural é facilitada pela comunicação espacial entre os níveis térreo e superior, assim como pela continuidade entre áreas de um mesmo piso. Nos dormitórios, o projeto das esquadrias possibilita a abertura completa da área de janela. No térreo, espaços abertos no interior e no entorno imediato das construções receberam um tratamento paisagístico de plantas nativas do cerrado.

A síntese arquitetônica alcançada no projeto das Moradias Infantis de Canuanã, que valoriza especialmente o uso da madeira de reflorestamento e da arquitetura de terra, fez do projeto construído uma referência internacional da arquitetura bioclimática contemporânea para climas do tipo quente e seco, premiada e publicada internacionalmente.

1.2. Precedentes de pesquisa: efeitos da massa térmica em temperaturas internas

Estudos analíticos de termodinâmica realizados por Parra-Saldivar e Batty (2006), para ambientes compactos de construção em adobe em três contextos climáticos de calor, mostraram que enquanto a temperatura externa máxima acontece entre às 15:00 e 16:00 hrs, a temperatura interna máxima é registrada entre às 19:00 e 20:00 hrs, apontando para um retardamento da temperatura de pico de aproximadamente 4 horas, acompanhado de um amortecimento entre temperatura superficial externa e interna ao redor de 12ºC.

Olhando para o contexto nacional, a avaliação da resposta térmica de construções em tijolo para moradias foi verificada por medições *in loco,* no empreendimento da Vila Butantã em São Paulo (1998), feitas por Lima et al (2020), cujos resultados mostraram que, no horário de pico de um dia de calor, enquanto a temperatura externa chega aos 30ºC, a temperatura interna fica ao redor dos 24ºC, mostrando um Δt de 6ºC entre exterior e interior, proporcionado pela inércia térmica combinada ao sombreamento e ao controle de aberturas para a ventilação, como aplicado no projeto de Tocantins. Resultados similares foram observados na pesquisa de campo realizada por Gonçalves et al (2018), em unidades habitacionais compactas do edifício Copan (conhecidas como *kitnets*), em que o caso com fachada externa de elementos vazados pesados (de

elevada massa térmica), também como nas Moradias de Infantis de Tocantins, acompanhada de massa no interior da envoltória, apresentou temperaturas internas estáveis ao redor dos 25ºC, enquanto a temperatura externa oscilava ao redor dos 30 ºC.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste artigo é a verificação do desempenho térmico e luminoso das Moradias Infantis de Canuanã, da Fundação Bradesco, em Formoso de Araguaia no Estado do Tocantins, por meio de estudos analíticos realizados com o recurso de simulações computacionais. Tais análises tem como foco a verificação do impacto da grande cobertura nas condições internas dos dormitórios e as suas respectivas varandas. O processo de avaliação do desempenho revela a contribuição das soluções arquitetônicas para a eficiência do sombreamento, da ventilação natural, da mediação térmica entre interior e exterior e o aproveitamento da luz natural nos referidos ambientes.

3. MÉTODO

A avaliação de desempenho deste artigo se baseia em procedimentos analíticos, tendo como foco os ambientes de dormitório e suas respectivas varandas (espaço criado entre as paredes de *cobogó* e as vedações internas) posicionados em diferentes orientações, segundo o Item 3.2.

As figuras 1 e 2 ilustram as Moradias Infatins de Canuanã, edifício abordado neste artigo.



Figura 1 – Fotos das Moradias Infantis de Canuanã, Fundação Bradesco, interior do edifício, à esquerda e exterior do edifício, à direita (Rosembaum, 2017 & Ita Construtora, 2017).

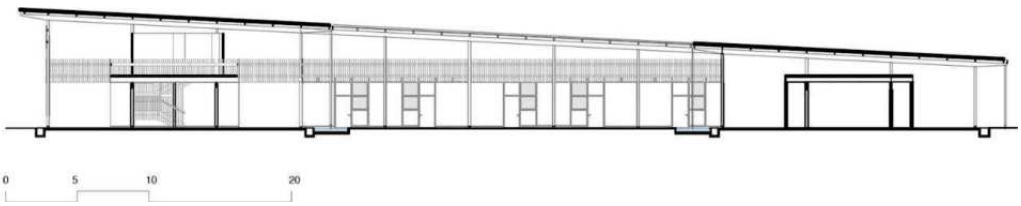


Figura 2 – Corte transversal do projeto das Moradias Infantis de Canuanã, destacando a cobertura de madeira que cobre os blocos de dormitórios e outros usos, deixando descoberto o pátio central (Rosembaum, 2017 & Ita Construtora, 2017).

Para a avaliação de térmica foram feitas simulações de termodinâmica de dormitórios e varandas voltados para diferentes orientações, das quais foram extraídos os percentuais de horas de conforto e desconforto (por frio e por calor) para o total de horas anuais, tomando como critério de desempenho o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHARAE (2013). Somado a isso, visando um entendimento mais aprofundado da resposta térmica do projeto às condições climáticas do local, observou-se o perfil de temperaturas operativas ao longo de duas semanas do período mais quente do ano, compreendendo o final de setembro e o início de outubro. Para o desempenho luminoso, foram feitas simulações de iluminâncias, considerando os dados climáticos anuais referentes a disponibilidade de luz natural, seguindo os procedimentos de CBDM – *Climate Base Daylight Modelling* (NABIL e MARDALJEVIC, 2006), das quais foram extraídos resultados para os dias de solstícios e equinócios.

As simulações foram feitas com os *plugins Honeybee* e *Ladybug* da ferramenta *Grasshopper*, que fazem uso das ferramentas de cálculo computacional *Energyplus* para o estudo de térmica e *Radiance* para o de iluminação. A modelagem digital do edifício foi feita com a ferramenta *Rhinoceros* 5. Vale destacar que, os estudos de natureza analítica, foram antecedidos pela elaboração de um diagnóstico climático da cidade de Formoso do Araguaia, apresentado na sequência.

3.1. Critérios de desempenho

Para a avaliação do desempenho térmico, foi adotado o modelo de conforto adaptativo proposto na normativa norte-americana ASHRAE (2013), que tem sido amplamente aplicado no contexto nacional e internacional, em avaliações de desempenho térmico de edifícios. Com respeito ao desempenho luminoso, foram observadas a ocorrência de faixas de iluminâncias de acordo com a classificação de Nabil e Mardaljevic (2006), apresentada na Tabela 1. Apesar desta ser uma classificação normalmente utilizada para a avaliação de ambientes de escritório, sua aplicação neste caso remete-se ao fato dos dormitórios terem também a função de ambientes de estudo, englobando a realização de diversas tarefas no plano de trabalho.

Tabela 1 – Classificação de Iluminâncias proposta por Nabil e Mardaljevic (2006)

Faixas de Iluminâncias (lux)	Classificação
Abaixo de 100	Não Útil
100 a 500	Suplementar (à luz artificial)
500 a 2000	Autônoma (sem a necessidade da luz artificial)
Acima de 2000	Excessiva

3.2. Modelo de simulação

A Figura 3 destaca os espaços de dormitório, com a indicação em planta dos blocos para os quais foram feitas as simulações de desempenho. Tendo em vista a simetria do projeto como um todo, o recorte para a simulação abrange os blocos de dormitórios de diferentes orientações, contemplando o quadrante um do conjunto. Nota-se que não foram identificados elementos do entorno imediato que exerçam sombreamento sobre os blocos que compõem o projeto. Na sequência, a Figura 4 mostra o modelo geométrico de simulação, com e sem a cobertura de sombreamento.

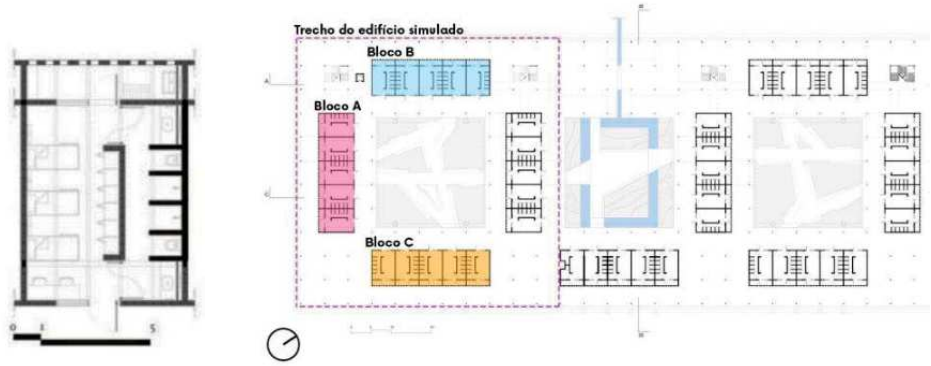


Figura 3 –. Planta de um dormitório padrão, à esquerda; indicação dos blocos simulados em planta, à direita. WWR-fachada interna (voltada para o pátio): 13,11%; WWR-fachada externa (voltada para a varanda de cobogó): 17,99%



Figura 4 – Imagens do modelo simulado com e sem a cobertura, feito com a ferramenta *Rhinoceros* 5.

Informações sobre a especificação termofísica dos materiais e componentes construtivos do modelo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Orientações dos blocos de dormitórios estudados

Bloco	Orientação da fachada principal (com a porta de entrada)	Orientação da fachada dos fundos (com os cobogós)
A	Nordeste – 298º 25`	Sudoeste – 115º 75`
B	Sudeste – 208º 25`	Noroeste – 28º 25`
C	Noroeste – 28º 25`	Sudeste – 208º 25`

A Tabela 3 traz dados de ocupação e carga térmica interna dos dormitórios. Com base nas diretrizes de ocupação estabelecidas para o projeto, assumiu-se o número máximo de 6 pessoas e um *notebook* por dormitório e uma carga de equipamentos de 2 W/m², seguindo as diretrizes para zonas com baixa carga de equipamentos por dormitório. Para a iluminação, estabeleceu-se a carga térmica de 5 W/m², sendo este um valor próximo ao alcançado com um sistema eficiente energeticamente constituído de lâmpadas de LED. Com respeito ao controle da ventilação natural, adotou-se um cenário de aproveitamento máximo da ventilação noturna e da inércia térmica dos ambientes internos, a fim de examinar o potencial máximo das

soluções arquitetônicas no alcance de condições de conforto térmico. Dessa forma, a abertura do vão da janela é de 100% durante a noite, baixando para metade nos primeiros horários da manhã e sendo fechada por completo durante o dia, quando os usuários estão fora do dormitório e as temperaturas externas podem facilmente estar acima dos limites da zona de conforto, como posto na Tabela 4.

Tabela 3 – Dormitórios: Especificação termofísica dos materiais e componentes construtivos utilizados no modelo de simulação de térmica. A descrição de materiais e componentes foi extraída de Rosembaum, 2017 e Ita Construtora, 2017.e as referentes especificações de CIBSE guide A (CIBSE, 2015).

Elemento	Materiais	Espessura (cm)	Condutividade (W/m*K)	Densidade (kg/m³)	Valor de U (W/m²*K)
Piso	Concreto	10	2,3	2500	2,79
	Pedra Compacta	40	1,3	2240	
	Solo Compactado	10	1,28	1460	
Parede Externa	Bloco de Adobe	14	0,37	1700	2,37
Laje	Laje de Concreto	7	2,3	2500	1,60
	Lã de Rocha	2,5	0,042	12	
Parede Interna	Bloco de concreto	15	0,48	880	1,35
	Gesso	2,5	0,22	800	
Janelas (internas e externas)	Vidro simples	0,3	1	2500	5,00

Tabela 4 – Dormitórios: Ocupação, carga térmica interna e regime de abertura de janelas para a ventilação natural em dias úteis

Horário	Pessoas	Luz Artificial (W/m²)	Equipamentos (W/m²)	Ventilação (% de abertura do vão total da janela)
00:00-7:00	6	0	0	100
7:00-8:00	3	5	1	50
8:00-9:00	0	5	0	50
9:00-18:00	0	0	0	0 (infiltração = 0,28 trocas por hora)
18:00-21:00	3	2,5	2	100
21:00-23:00	6	5	2	100

Para as simulações de despenho luminoso assumiu-se a transmitância de 75% e refração de 1,5 para os vidros, enquanto para os elementos vazados (*cobogós*) estabeleceu-se 100% de transmitância, por serem aberturas sem fechamento, e refração de 1,0. Outras especificações referentes aos materiais opacos com influência nas simulações de desempenho luminoso estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Dormitórios: Especificações dos materiais opacos de influência nas simulações de desempenho luminoso.

Elemento	Material	Rugosidade	Refletância
Cobertura (da unidade)	Gesso	10%	70%
Cobertura (do edifício)	Madeira	10%	50%
Piso	Concreto/cimento queimado	20%	30%
Outras superfícies brancas	Gesso	10%	70%
Outros elementos de madeira	Madeira	10%	50%

4. DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO

Localizada na latitude 11° 47′S, próxima à linha do Equador, a cidade de Formoso do Araguaia está em uma região de clima de cerrado (*tropical wet and dry* or *savana climate* - Aw), segundo a classificação de Köppen−Geiger (Peel, Finlayson and Mcmahon, 2007). Clima este, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo de todo o ano com uma estação seca e outra chuvosa. O diagnóstico do clima local foi realizado com base no arquivo climático do INMET (2012) e os dados do clima foram trabalhados com a ferramenta de construção de gráficos climáticos *Climate Consultant* 6.0.

Como consequência da baixa latitude, as orientações norte e sul recebem quantidades significativas de radiação solar ao longo do ano, sendo a orientação sul mais afetada pela radiação solar direta nos meses

de janeiro a abril e de outubro a dezembro (correspondente às estações de primavera e verão), enquanto a norte nos meses de março a junho e julho a setembro (correspondente aos meses de outono e inverno). Nesta latitude, a trajetória solar atinge rapidamente a parte mais central da abóboda celeste (as partes mais altas do céu). A exemplo disso, a altura solar chega aos 77,5˚ às 12 horas nos equinócios, aos 78˚ no mesmo horário nos equinócios no solstício de verão e aos 55˚ no solstício de inverno, fazendo de elementos horizontais a estratégia mais eficiente para o sombreamento. A radiação global no plano do horizonte fica entre 4000Wh/m² e 6000Wh/m², sendo agosto e outubro os meses de maior incidência e abril o mês de menor radiação incidente (Figura 5).

A temperatura de bulbo seco se mantém relativamente constante durante o ano inteiro, com médias mensais variando entre 25˚C a 30 ˚C, com máximas ultrapassando os 35 ˚C e chegando perto dos 40 ˚C nos meses mais quentes, sendo estes de agosto e dezembro (Figuras 5 e 6). De modo geral, o período entre outubro e abril, compreende aos meses mais úmidos e quentes, com taxas de umidade relativa ao redor dos 80%, enquanto o período entre maio e setembro, é primordialmente quente e seco, com umidade relativa por volta dos 40%. Como consequência da queda nos valores de umidade, os meses mais quentes e secos são também os de maior amplitude térmica diária (ΔT), marcando 13 ˚C em junho e 18 ˚C em setembro, enquanto nos meses úmidos, esta variação é de cerca de 6 ˚C (Figura 6). Tais valores de ΔT no período quente do ano apontam para as vantagens da aplicação de massa térmica combinada à ventilação natural (principalmente no período noturno) para o alcance de condições de conforto térmico no interior de edifícios. Complementando, os ventos predominantes variam entre a direção sul e sudeste, ao longo de ano, com velocidades entre 0,1 m/s e 8,3 m/s (Figura 7).

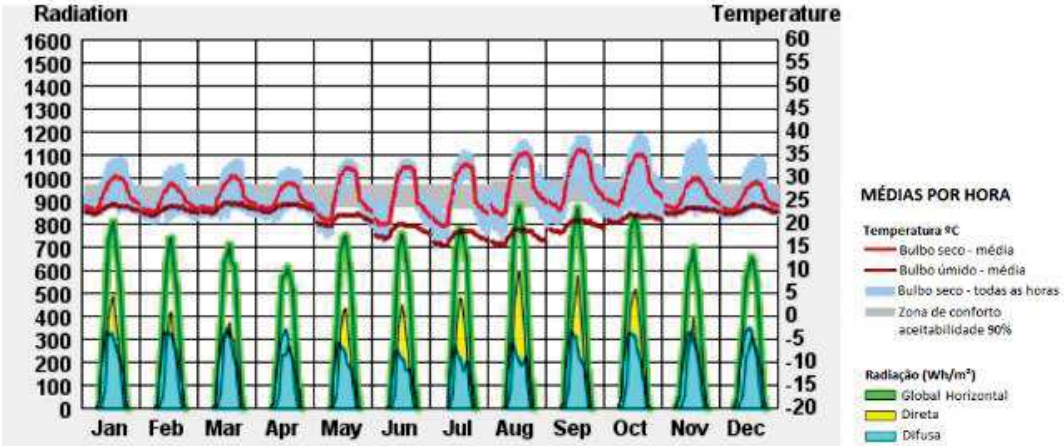
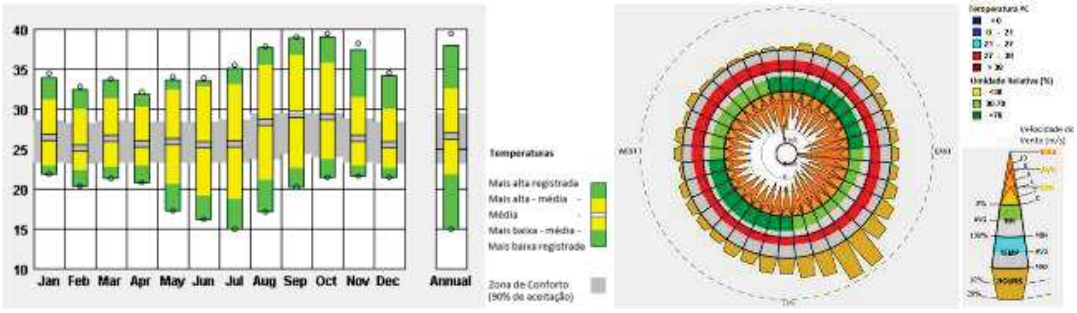


Figura 1 – Perfil anual de temperaturas do ar e radiação solar para a cidade de Formoso do Araguaia (TO) – extraídos de um dia típico de cada mês. Gráfico gerado com a ferramenta *Climate Consultant* 6.0, com o arquivo climático (epw) de Formoso do Araguaia. (INMET, 2012).



Figuras 6 e 2 – À esquerda, temperaturas médias, máximas e mínimas, ao longo do ano, para Formoso do Araguaia (TO). À direita, Rosa dos Ventos para Formoso de Araguaia (TO). Gráficos gerado com a ferramenta *Climate Consultant* 6.0, com o arquivo climático (epw) de Formoso do Araguaia. (INMET, 2012).

5. ESTUDOS ANALÍTICOS

5.1. Desempenho térmico: resultados e discussão

Os resultados dos estudos analíticos mostram que os ambientes voltados para as três orientações apresentam um elevado percentual de conforto (acima de 85% do tempo no caso dos dormitórios e acima dos 69% nas varandas) para os cenários com a cobertura e sem cobertura. A maior exposição das varandas ao ambiente

externo (mesmo que bastante protegidas) resulta em um desempenho ligeiramente pior nestes espaços. No caso do cenário com a cobertura, a diferença entre dormitório e varanda fica ao redor dos 5%, mostrando um desempenho ainda bem próximo entre os dois ambientes. Porém, essa diferença sobe para intervalos de 10% a 20%, aproximadamente, no cenário sem a presença da cobertura.

Olhando exclusivamente para os dormitórios, enquanto no cenário com a cobertura o desconforto por calor é praticamente zero em todas as orientações, sem a proteção da cobertura, o desconforto por calor fica entre 9,19 % e 11,58 %, dependendo da orientação. Com respeito às varandas, a diferença é bem maior, ficando entre pouco menos de 1%, no melhor caso, com a cobertura, e quase 30%, no pior deles, sem a cobertura. Comparativamente, foram baixos os percentuais encontrados de desconforto por frio, sendo de 4,01 % no pior caso dos dormitórios voltado a nordeste e 7,01 % na sua respectiva varanda, não se mostrando como um problema, propriamente dito, para o desempenho térmico dos ambientes de estudo. Isso porque, nos dormitórios, os usuários podem se adaptar nas poucas horas de desconforto por frio (que acontecem certamente no período noturno), lançando mão de cobertores, por exemplo. No entanto, anualmente, os percentuais de conforto, em geral, mostram uma diferença relativamente pequena em entre os dois cenários, com e sem cobertura. Isso pode-se atribuído ao alto grau de sombreamento inerente às paredes externas de elementos vazados, combinado aos efeitos da massa térmica e da ventilação natural controlada.

No que se refere às temperaturas operativas, as simulações de termodinâmica mostraram que os blocos apresentam pouca diferença entre si. Por isso, para efeitos de objetividade, a Figura 8 traz os dados exclusivamente para o dormitório e a varanda do bloco B, com e sem a cobertura, durante um período de duas semanas de condições de clima quente e seco, compreendido entre os dias 19 de setembro e 3 de outubro. Os resultados apontam para uma clara estabilidade térmica dos ambientes simulados, mesmo no cenário sem a cobertura. No entanto, vale destacar que no cenário com a cobertura, as temperaturas do ar tanto do dormitório como da varanda ficam mais no centro da zona de conforto (próximas a linha de temperatura neutra). No caso do dia 23 de setembro, um dos dias mais quentes do período selecionado, enquanto a temperatura externa é de 38,3˚C, a temperatura interna no cenário com a cobertura é de 25,8 ˚C, já sem a cobertura é de 29 ˚C, ambas dentro da zona de conforto. Outro ponto a destacar é que apenas a varanda no cenário sem a cobertura ultrapassa o limite superior da zona de conforto, durante o dia, apresentando amplitudes diárias de 12,5˚C e de 9,3˚C, respectivamente, sendo estas significativas para a eficácia da ventilação noturna. Os perfis de temperaturas operativas comprovam o papel relevante da cobertura para o conforto térmico dos dormitórios e varandas, uma vez que por seu efeito, a temperatura interna no dormitório fica cerca de 3,2˚C abaixo do cenário sem a mesma.

Tabela 1 – Percentual anual de horas dentro e fora da zona conforto térmico nos ambientes simulados (dormitórios e varandas).

Modelo de Conforto			**ASHRAE (aceitação de 90%)**		
% em relação à zona de conforto			**% Abaixo**	**% Acima**	**% conforto**
BLOCO A fachada externa: SO	C/ cobertura	Dormitório	4,01	0,00	95,99
		Varanda	7,01	0,89	92,01
	S/ cobertura	Dormitório	0,61	9,19	90,21
		Varanda	0,58	29,68	69,55
BLOCO B fachada externa: NO	C/ cobertura	Dormitório	2,59	0,00	97,41
		Varanda	5,23	1,96	92,81
	S/ cobertura	Dormitório	0,47	11,76	87,77
		Varanda	0,55	23,39	76,06
BLOCO C: fachada	C/ cobertura	Dormitório	1,86	0,01	98,13
		Varanda	4,46	1,88	93,65

externa: SE	S/ cobertura	Dormitório	0,56	11,58	87,87
		Varanda	0,43	24,55	75,01

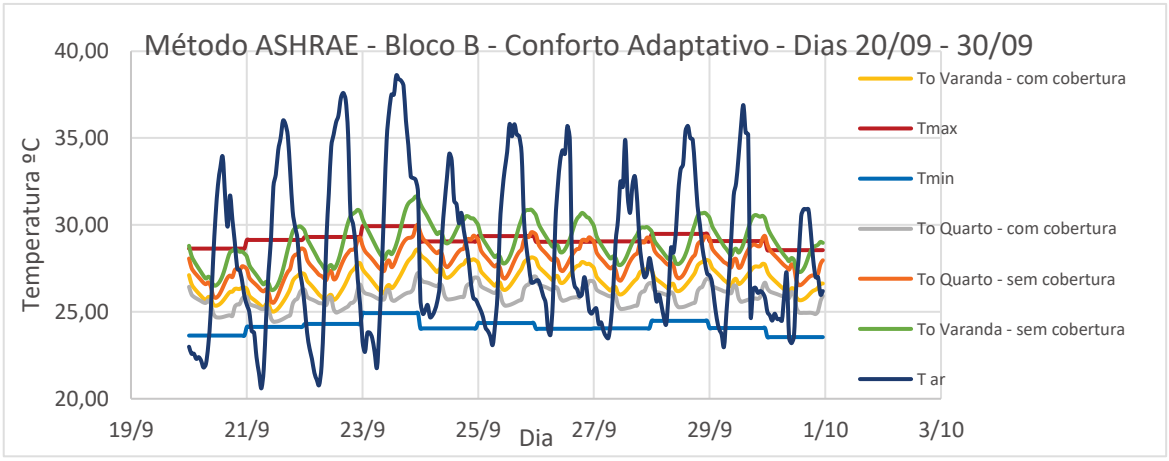


Figura 8 – Perfil de Temperaturas Operativas no dormitório e varanda do bloco B (fachada principal à Sudeste – 208º), nos cenários com e sem a cobertura, para o período entre os dias 19 de setembro e 3 de outubro, com a indicação da zona de conforto térmico, de acordo com o modelo adaptativo da ASHRAE (2013), onde lê-se Tmax – como limite superior da zona de conforto e Tmin – como limite inferior da zona de conforto, enquanto Tar representa os valores da temperatura do ar externo.

5.2. Desempenho luminoso: Resultados e discussão

No âmbito do desempenho luminoso, a diferença entre os cenários com e sem a cobertura é nítida, como demonstrado pelos resultados de iluminâncias úteis, ou *useful daylight illuminance*, em inglês (UDI), UDI, que revelam o efeito moderador da cobertura nos níveis de iluminância simuladas para o interior dos dormitórios. Simulações de desempenho luminoso foram feitas para as três orientações dos blocos. Contudo, no âmbito desta discussão técnica, são apresentados na Tabela 6 e na Figura 9 os resultados para o dormitório central do Bloco A (SO) como referência, por ser esta a orientação que mostrou um número maior de horas de desconforto, no cenário sem a cobertura, por conta da exposição à radiação solar.

Tabela 7 – Valores de UDI no dormitório central do Bloco A, para três horários dos solstícios e equinócios.

Data de Análise	**Horário Simulado**	**Modelo de Simulação**	**Classificação - UDI**			
			Não Útil (<100lux)	**Complementar (100-500lux)**	**Útil (500-2000lux)**	**Excessivo (>2000lux)**
21/09	9:00	S/ Cobertura	12,12%	17,26%	53,63%	**16,96%**
	15:00		12,12%	23,63%	46,67%	**17,58%**
	9:00	C/ Cobertura	12,12%	33,94%	50,61%	**3,33%**
	15:00		13,33%	59,09%	23,94%	**3,64%**
21/06	9:00	S/ Cobertura	12,12%	21,51%	53,93%	**12,42%**
	15:00		12,12%	29,69*%	45,45%	**12,72%**
	9:00	C/Cobertura	16,36%	40,3%	39,39%	**3,94%**
	15:00		20,3%	57,88%	21,82%	**0%**
21/12	9:00	S/ Cobertura	12,12%	20%	53,64%	**14,24%**
	15:00		12,12%	21,51%	50%	**16,36%**
	9:00	C/ Cobertura	16,06%	46,36%	37,56%	**0%**
	15:00		12,73%	57,58%	28,18%	**1,52%**

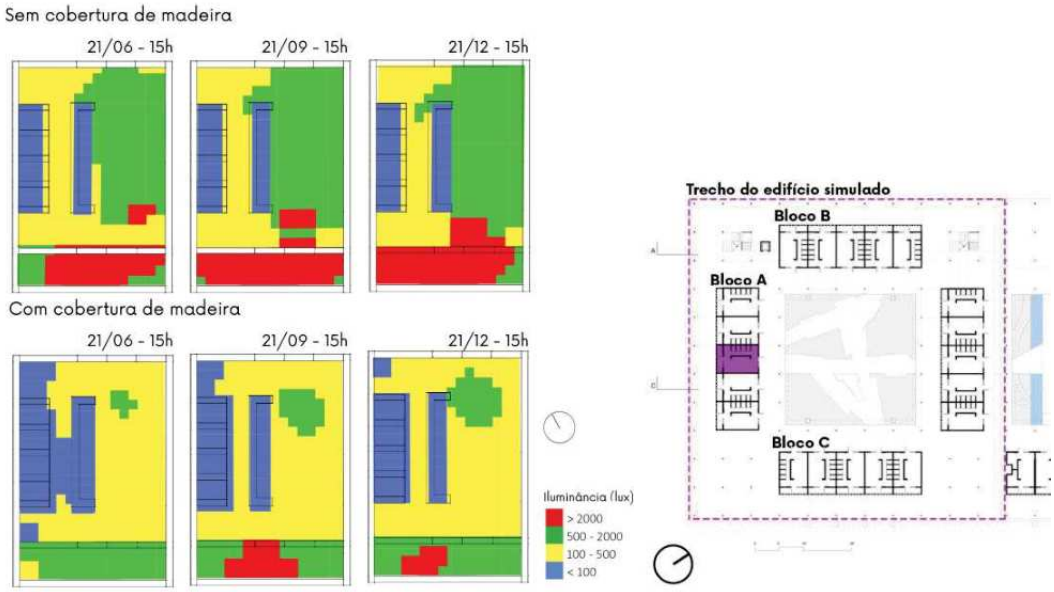


Figura 9 – Iluminâncias calculadas na altura do plano de trabalho nos dormitórios e varandas da unidade central do Bloco A, para os solstícios de verão, inverno e equinócios, às 15 horas. As imagens acima apresentam os resultados para o cenário sem a cobertura e as imagens abaixo, os resultados do cenário sem a cobertura. Para gerar as imagens acima, foram realizadas simulações computacionais no plugin Ladybug, dos softwares Grasshopper e Rhinoceros com auxílio do Radiance, foram realizadas simulações para avaliar a iluminância dos ambientes em dias específicos. Após esta simulação, os valores foram filtrados de acordo com as taxas de UDI.

Sem a cobertura, apesar do melhor resultado com respeito à faixa "Útil" e também menores valores para a faixa de "Não Útil", os valores de UDI são significativamente maiores para as iluminâncias acima do limite de 2.000 lux, de valores excessivos, na varanda e no dormitório, com riscos de ofuscamento. Nesse sentido, o pior caso sem a cobertura acontece às 15hs no solstício de verão, com um UDI "Excessivo" de pouco mais de 16%, enquanto com a cobertura esse índice fica ao redor dos 1,5%. Com a cobertura, a faixa "Complementar" varia de 33,94% na manhã dos equinócios, a 57,88% na tarde do solstício de verão e 57,58% na tarde do solstício de inverno. Já no cenário sem a cobertura, os resultados nos mesmos dias e horários ficam próximos à metade do que foi encontrado no cenário com a cobertura. O inverso é observado para a faixa de UDI "Útil". Deve-se considerar que a faixa de iluminâncias entre 100 e 500 lux (considerada aqui como complementar) pode ser suficiente para determinadas tarefas de trabalho, em particular para o uso de computadores. No caso específico do dormitório, os valores excessivos são inteiramente eliminados no cenário com a cobertura. Vale mencionar que, mesmo sem a cobertura, iluminâncias excessivas aparecem predominantemente no espaço da varanda, mostrando o efeito de sombreamento da parede externa de elementos vazados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial de estratégias passivas no projeto de arquitetura em regiões de clima quente, com períodos de calor extremo, foi verificado em inúmeros trabalhos de natureza analítica. Um exemplo desses, é o estudo apresentado por Bhatla e Gonçalves (2012), em que foram comparadas as reduções na carga térmica de resfriamento de um modelo simplificado de uma unidade residencial, na cidade indiana de Madras (latitude 13,0º N), de clima quente-seco, com períodos úmidos. A verificação do efeito combinado do sombreamento, da massa térmica (com isolamento externo) e da ventilação controlada, indicou um potencial de redução de cerca de 50% da carga térmica do case-base.

No caso do projeto das Moradias Infantis de Canuanã, em Formoso do Araguaia, no estado de Tocantins, os estudos analíticos de desempenho térmico e luminoso demonstraram o potencial do alcance de condições satisfatórias de térmica e iluminação nos ambientes de dormitório e suas respectivas varandas, ao longo do ano. A exemplo disso, para uma semana típica de condição quente e seca, verificou valores de temperatura operativa, nos espaços internos dos dormitórios, ao redor de 10ºC abaixo da temperatura externa, evidenciando a influência da massa térmica das paredes de adobe, combinadas à ventilação natural e ao sombreamento. A grande cobertura mostrou ter um papel na redução dos ganhos solares, resultando em uma diferença de 3ºC a 5ºC nos dormitórios, entre os cenários com e sem a cobertura. Porém, em geral, nos dormitórios, valores de temperatura operativa variam dentro da zona de conforto, mesmo no cenário

hipotético de ausência da grande cobertura de madeira. Paralelamente, viu-se um impacto relevante da cobertura no controle da luz natural (evitando significativas áreas com valores excessivos de iluminância).

No caso do desempenho luminoso, os estudos analíticos mostraram que a cobertura tem o potencial de eliminar por completo a ocorrência de níveis excessivos de iluminância na orientação SO. No entanto, é possível inferir que mesmo sem a cobertura, a ocorrência de UDI na faixa do "Excessivo" aparece predominantemente na área da varanda, totalizando 17,58% no pior caso (manhã dos equinócios), somando as áreas de varanda e dormitório. Pode-se dizer que a diferença de desempenho alcançada com a cobertura é maior na criação do ambiente luminoso do que nas condições de térmica. Vale ressaltar que a penetração da luz natural no interior dos dormitórios se dá por meio da reflexão da radiação solar pela parede externa de elementos vazados, que sombreia o espaço da varanda que, por sua vez, funciona como uma zona de transição da radiação solar, que é então refletida para o interior.

O projeto das Moradas Infantis de Canuanã provou a possibilidade do alcance de condições de conforto térmico e níveis aceitáveis de luz natural, mesmo em condições extremas de calor e exposição a elevados níveis de radiação solar (com valores de temperatura externa ultrapassando a marca dos 40 ºC), a partir da aplicação de soluções de projeto adequadas ao clima local e fazendo uso de técnicas presentes na arquitetura vernacular do local. Assim, os estudos analíticos aqui apresentados demonstram que esse é um real exemplo de *arquitetura bioclimática*, definida por Romero (2012) como a prática arquitetônica que leva em consideração a aplicação de estratégias passivas, através de uma abordagem integrada, indo além das considerações climáticas e incluindo aspectos da cultura local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning. **ASHRAE 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.

BHATLA S.; GONÇALVES, J. C. S. The Environmental Performance of the TTDI Towers, Kuala Lumpur. **CTBUH Journal, International Journal on Tall Buildings and Urban Habitat. Tall Buildings' Design, Construction and Operation**. Chicago, CTBUH, p.24 - 28, 2012.

CIBSE. **CIBSE guide A: environmental design.** London: The Chartered Institution of Building Services Engineers, 2015.ITA CONSTRUTORA. Ita Construtora, 2017. **Moradias Infantis – Fundação Bradesco**. Disponível em: https://www.itaconstrutora.com.br/portfolio/fundacao-bradesco/, (Acesso em: 20/03/2021).

GONÇALVES, J.C.S.; BODE, K. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors.** Energy and buildings, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006.

PARRA-SALDIVAR, M. L., BATTY, W. Thermal behaviour of adobe constructions. **Building and Environment**. 41: p. 1892-1904, Elsevier, 2006.

PEEL, Murray C.; FINLAYSON, Brian L.; MCMAHON, Thomas A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and earth system sciences, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, SP, Brasil, 2012.

ROSENBAUM. Rosenbaum, **Moradias Infantis Canuanã – Fundação Bradesco**. Disponível em: http://rosenbaum.com.br/projetos/fundacaobradescocanuana/, (Acesso em: 20/03/2021), 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade de São Paulo pela bolsa de auxílio PUB (processo no. 1241).