



Arquitetura vernacular sustentável em área legalmente protegida: unidade pedagógica na APA da ilha do Combú, Pará

Sustainable vernacular architecture in a legally protected area: pedagogical unit in the APA of the island of Combú, Pará

Arquitectura vernácula sostenible en un área legalmente protegida: unidad pedagógica en la APA de la isla de Combú, Pará

BARBOSA, Andrezza de Melo¹
FRANCO, Irving Montanar²
MARTORANO, Lucieta Guerreiro³
TOURNE, Daiana Carolina Monteiro⁴

¹Universidade Federal do Pará, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído – LADEC
ORCID: 0000-0002-9403-3238
andrezzambarbosa.arq@gmail.com

²Universidade Federal do Pará -UFPA, Instituto de Tecnologia ITEC, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído.
ORCID: 0000-0002-4971-8211
irvingmf@gmail.com

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, na Embrapa Amazônia Oriental/NAPT Médio Amazonas. Professora do PPG Rede Bionorte e PPGSND/UFOPA
ORCID: 0000-0003-3893-3781
lucieta.martorano@embrapa.br e martorano.lucietta@gmail.com

⁴Bolsista FAPESP de Pós-doutorado no Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPAM), da Universidade de Campinas (UNICAMP).
ORCID: 0000-0002-0083-2179
monteiro.dca@gmail.com

Recebido em 29/11/2014 Aceito em 22/03/2016



Resumo

O objetivo neste trabalho foi propor uma unidade pedagógica em uma área de proteção ambiental (APA) da Ilha do Combú com base em resultados térmico-hídricos associados à verticalização e perda de área verde em Belém. Foram realizados estudos de campo, análise de taxas evapotranspiratórias, monitoramento de espécie com fins paisagístico, testes em ferramentas computacionais para avaliar carga térmica e insolação, bem como a elaboração do projeto arquitetônico. Levantaram-se dados de materiais disponíveis na região passíveis de mitigação da “pegada de lixo” e destino eficiente de madeira ilegal apreendida por órgãos ambientais, para uso em construção imersa no ambiente insular. A utilização de estratégias sustentáveis como os tetos e superfícies verdes potencializam a redução da carga térmica nos horários de alta incidência da radiação solar em regiões de baixas latitudes, como na APA da ilha do Combú. A unidade pedagógica proposta se integra ao lugar, permitindo ventilação cruzada permanente, bem como de ventilação forçada para os períodos mais críticos do dia e do ano, além da proteção das fachadas com dispositivos solares e sombreamentos. A preocupação com o conforto ambiental e o reaproveitamento de materiais, potencializa a indicação da proposta de construção bioclimática na Amazônia brasileira.

Palavras-Chave: ilhas de calor; conforto ambiental; arquitetura bioclimática

Abstract

The objective of this work was to propose a pedagogical unit in an area of environmental protection (APA) on the Ilha do Combú based on results from thermal and hydrological analyses associated with verticalization and the loss of green areas in Belém. Fieldwork was done including analysis of evapotranspiration rates, monitoring of species used in landscaping projects, and tests using computational tools to evaluate the thermal load and degree of insolation, as well as to elaborate an architecture project for the area. Data were collected material available in the area that could aid in mitigation of the “garbage footprint” and in the destination of illegal wood apprehended by environmental compliance agencies that could be used in a construction project immersed in an insular landscape design. The use of sustainable strategies such as green roofs and surfaces enables a reduction of the thermal load during the hours with the highest incidence of solar radiation in low-latitude regions, such as the APA on the Ilha do Combú. The proposed pedagogical unit is integrated into the environment, allowing for permanent cross-ventilation, as well as forced ventilation during the most critical periods of the day and year, beside protection of building fronts by solar-powered devices and shade. The preoccupation with environmental comfort and reutilization of materials in this proposal makes it ideal for bioclimatic construction in the Brazilian Amazon.

Keywords: heat islands; environmental comfort; bioclimatic architecture

Resumen

El objetivo de este trabajo fue proponer una unidad pedagógica en un área de protección ambiental (APA) de Ilha do Combú a partir de resultados de aguas termales asociados a la verticalización y pérdida de área verde en Belém. Se realizaron estudios de campo, análisis de tasas evapotranspiratorias, monitoreo de especies con fines paisajísticos, pruebas de herramientas computacionales para evaluar la carga térmica y la insolación, así como la elaboración del proyecto arquitectónico. Se recopilaron datos sobre materiales disponibles en la región que podrían mitigar la “huella de basura” y el destino eficiente de la madera ilegal incautada por las agencias ambientales, para su uso en construcciones inmersas en el entorno insular. El uso de estrategias sostenibles como cubiertas y superficies verdes potencializa la reducción de la carga térmica en épocas de alta incidencia de radiación solar en regiones de baja latitud, como en la APA en la isla de Combú. La unidad pedagógica propuesta se integra en el lugar, permitiendo la ventilación cruzada permanente, así como la ventilación forzada para los períodos más críticos del día y del año, además de proteger las fachadas con dispositivos solares y sombreado. La preocupación por el confort ambiental y la reutilización de materiales, realza la indicación de la construcción bioclimática propuesta en la Amazonía brasileña.

Palabras clave: Islas de calor; confort ambiental; arquitectura bioclimática

1. Introdução

A grande Belém em 44 anos mudou sua configuração arquitetônica, intensificando a verticalização, principalmente no Bairro do Umarizal que recebe influência de efeitos de brisas do Rio Pará, rico em área insular no entorno da capital paraense. A 5 km é possível avistar a ilha do Combú em frente a cidade, contrastando edificações com a paisagem verde das áreas ribeirinhas (BARBOSA, 2012).

Destaca-se que após a década de 70 (Século XX), quando a crise do petróleo atingiu economicamente o mundo, a busca por fontes de energias renováveis intensificou-se e diversos estudos em várias áreas, incluindo a construção civil, foram realizados visando a prática de ações para um desenvolvimento sustentável. As obras do arquiteto Le Corbusier, podem ser citadas como exemplos de arquitetura e sua ambiência, através do uso de dispositivos de proteção solar brise-soleil, janelas em fita que aproveitam a iluminação natural, pilotis que criam permeabilidade facilitando a ventilação, além dos terraços-jardins que transformam as coberturas em um espaço habitável (MACIEL, 2002).

O Painel Intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC, 2007) apontou que as ações antrópicas vêm contribuindo com o aumento de Gases de Efeito Estufa (GEE) na Atmosfera e intensificando, principalmente, os eventos extremos com sérios prejuízos à humanidade. Estudos apontam que cerca de 75% das construções são responsáveis por grande parcela de contribuição das emissões de carbono, ressaltando a necessidade de edificações sustentáveis (PNUMA, 2011). Em cenários de mudanças climáticas, as edificações possuem papel importante na redução dos impactos na interface urbano-rural. Propostas de edificações sustentáveis devem considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos em consonância com os pressupostos de sustentabilidade e políticas públicas federais e estaduais como Desmatamento zero (2008) e Municípios verdes (2011).

A presença da vegetação influencia positivamente tanto o clima como na qualidade de ar devido à capacidade das plantas e árvores em absorver as emissões de CO₂, amenizando as temperaturas máximas pelo efeito do sombreamento que reduz a reflexão da radiação solar incidente (ROMERO, 2007; CORBELL e YANNAS, 2003). A redução de temperatura ocorre, por exemplo, em razão do resfriamento promovido pelas taxas evapotranspiratórias em tetos vegetados. A vegetação recebe sistematicamente a incidência da radiação solar, provocando a evapotranspiração nas plantas e estas impedem, em parte, a passagem do calor, promovendo o resfriamento das coberturas dos prédios e, conseqüentemente, o conforto térmico interno das edificações (LAMBERTS et al., 1997; VALESAN et.al., 2010).

Em ecossistemas frágeis de populações que vivem basicamente de produtos extrativistas, a preocupação se volta para alternativas arquitetônicas que contemplem, não apenas as necessidades da região, mas, sobretudo propostas focadas em fundamentos científicos, inovadores e em harmonia com as potencialidades regionais. Nesse contexto, elaborou-se uma proposta arquitetônica de uma unidade pedagógica sustentável em área legalmente protegida, localizada na APA da Ilha do Combú, a partir de resultados obtidos em estudos térmico-hídricos associados à verticalização e perda de área verde em Belém, no estado do Pará.

2. Materiais e Métodos

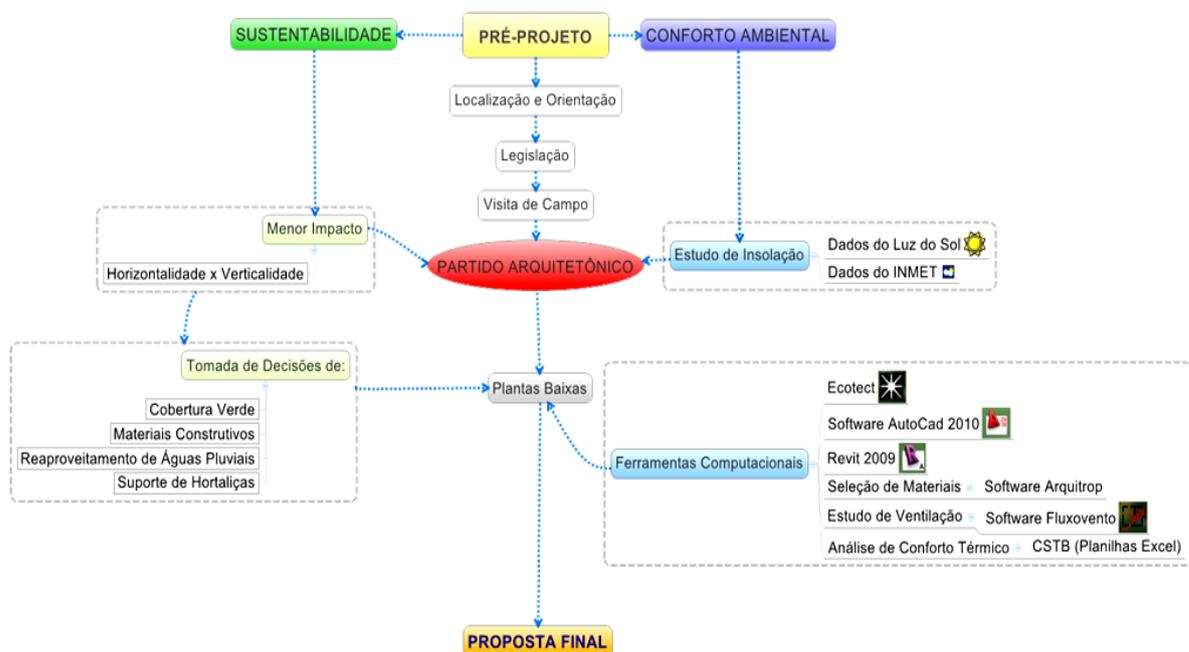
Este trabalho foi desenvolvido a partir da identificação das demandas de edificações escolares pelos moradores da área insular de Belém, especificamente na APA da Ilha do Combú. Durante uma oficina realizada em agosto de 2011, intitulada “Democratização da ciência-Embrapa na escola: Ilhas focadas na sustentabilidade” junto aos educadores da ilha verificou-se somente a existência de escolas até o 5ºano, gerando um sério problema social de índice de escolaridade baixo. Sendo assim, foi elaborada a proposta arquitetônica de uma unidade pedagógica atendendo do 6º ao 9º ano.

A proximidade da cidade e o fácil acesso foram primordiais para a escolha dessa unidade de conservação como área de estudo. Foram realizadas visitas de campo para auxiliar na percepção da realidade local, e elaboração do estudo de caso. Na localidade de São Benedito percebeu-se, por exemplo, aspectos como: salas de aulas em dimensões inadequadas conforme o MEC; pouco aproveitamento da ventilação; além de precariedade da estrutura física.

Tais percepções proporcionaram a construção do programa de necessidades adequado para uma escola localizada em área insular. A parceria com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA, e a Embrapa foi fundamental para aproximar pesquisadores, estudantes e a comunidade local, principalmente a partir da inserção da disciplina Educação ambiental na educação básica, visto que a Embrapa já desenvolve diversos projetos de democratização da ciência, a exemplo do livro “Conhecendo a Terra: Um olhar ecológico sobre o planeta” de Moreno e Freitas (2009).

A proposta da unidade pedagógica baseou-se em um tripé: o pré-projeto arquitetônico, a sustentabilidade e o conforto ambiental (Figura 1).

Figura 1: Diagrama metodológico.



Fonte: Barbosa (2012).

A proposta da unidade pedagógica tem como base projetual o uso de módulos, devido à facilidade de trabalho com a proporção dos ambientes e a possibilidade de um mesmo módulo possuir os mais diversos usos. O recurso do módulo também é uma estratégia para os estudos de conforto térmico, ou seja, faz-se o estudo de conforto para um único módulo e este apenas altera o seu uso.

O principal conceito que norteou o projeto foi a permeabilidade visual. No primeiro desenho de partido arquitetônico, buscou-se este conceito desmembrando a edificação, tornando-a pulverizada, visando a maior circulação de ventos. Todavia, houve um forte indicativo de impacto ambiental.

Sendo assim, ponderou-se uma solução mais verticalizada, e utilizou-se como ferramenta de suporte para a nova proposta, estudos de bricolagem buscando sempre o conceito da permeabilidade e contextualização da edificação com seu entorno. Desta forma novos conceitos foram agregados, tais como os vários níveis de piso, em referência ao arquiteto Mies Van de Rohe, e os pilotis de Le Corbusier, proporcionando à edificação maior permeabilidade. Os pilotis surgiram como solução

familiar à comunidade, pois são culturalmente usados na ilha na concepção enquanto palafitas.

Entretanto, a segunda proposta ainda se mostrou horizontalmente muito impactante, e a solução da verticalidade foi intensificada, descortinando a paisagem de forma linear para cima, com o olhar superior à linha do horizonte.

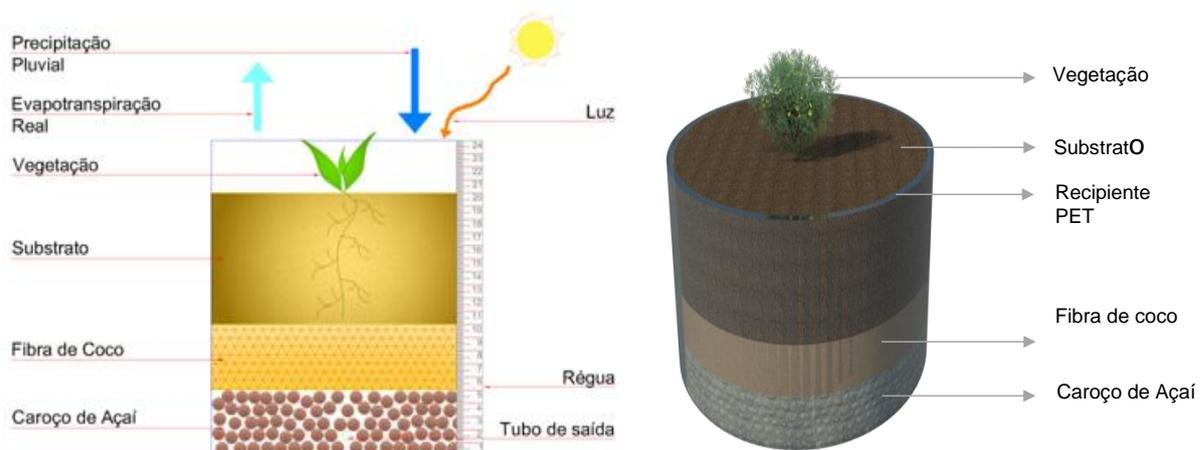
Com base nas análises dos dados de carga térmica disponibilizados no programa Luz do Sol, verificou-se quais pontos da proposta de projeto receberia maior insolação, subsidiando a determinação da setorização do projeto. Após as análises, realizou-se a discretização dos meses de solstícios e equinócios, ou seja, dia 22 dos meses de março, junho, setembro e dezembro, construindo-se assim um panorama global anualizado.

Dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram normalizados e avaliados em função das amplitudes térmicas, temperaturas mínimas, correspondentes a série histórica homogênea de 44 anos (1967 a 2010). A evolução da verticalização em Belém sofreu o mesmo tratamento de dados, a partir das informações de Mello (2007).

A cobertura, considerada para o estudo como uma fachada, apresentou-se como aquela que recebe a maior carga térmica, devido sua grande área exposta. Soluções sustentáveis como as apresentadas por Barbosa et al. (2011a) e Barbosa et al. (2016a), utilizando-se tetos verdes com potencial de redução de carga térmica na edificação, foram aplicados no projeto. Para analisar os efeitos mitigadores deste tipo de cobertura, foram avaliadas anomalias térmicas (quentes e frias), usando a metodologia de Ambrizzi (2002).

O uso de tetos verdes como estratégia de atenuação de calor em edificações foi testado utilizando-se como elementos filtrantes e drenantes a palha de coco (*Cocos nucifera*) e o caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), respectivamente. Destaca-se que foi realizado um experimento com mini-lisímetros, confeccionados com recipiente PET (10 litros) (Figura 2), monitorando-se o desempenho da espécie vegetal e seu consumo hídrico (Figura 3), bem como seu potencial erosivo (SANTOS et al., 2016).

Figura 2: Representação esquemática do mini-lisímetro.



Fonte: Barbosa (2012).

Figura 3: Evolução da planta estudada em 5 meses em casa de vegetação.

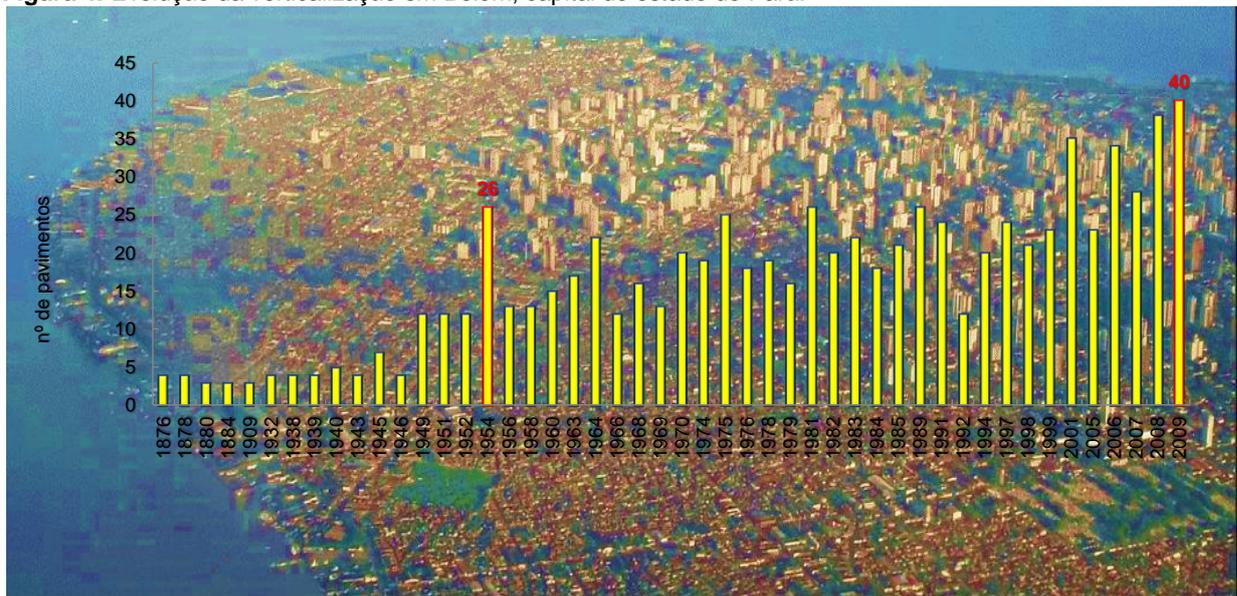


Fonte: Barbosa (2012).

Para testar os efeitos térmicos nos materiais usados, realizou-se campanhas de avaliações em horários de alta intensidade térmica. Uma manta de palha de coco foi colocada sobre a laje do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) coberta com caroços de açaí. Foram tomadas medidas usando um sensor de imagem térmica Flir A320 no infravermelho, para investigar as respostas térmicas desses materiais.

A evolução do Skyline da cidade foi analisada a partir dos dados de Mello (2007) verificando-se a evolução do aumento do número de apartamentos e consequente aumento de gabarito dos prédios (Figura 4), bem como os possíveis efeitos desta verticalização nas características ambientais da cidade.

Figura 4: Evolução da verticalização em Belém, capital do estado do Pará.



Fonte: Barbosa et al. (2016a).

Para a produção da maquete eletrônica foi utilizado o programa Revit em conjunto com o AutoCad para a produção das plantas baixas, secções e elevações. O estudo de insolação foi desenvolvido no programa Ecotect, versão 5.2, analisando-se as sombras geradas durante o dia e durante o ano.

O programa Excel foi utilizado para a realização das análises de cálculo de carga térmica do CSTB, baseando-se no método apresentado por Croiset e Borel (FROTA e SCHIFFER, 2005), que avalia o desempenho térmico das edificações e baseia-se no regime térmico permanente, considerando-se no inverno, apenas as perdas térmicas, e no verão as perdas e os ganhos, como é o caso do projeto.

O método CSTB, inicia com o cálculo de ganhos de carga térmica por opaco, translúcido e cobertura. Os resultados obtidos para cada situação foram multiplicados pelos valores horários de carga térmica incidente, obtidos no programa Luz do Sol, observando-se a maior carga térmica encontrada.

Em seguida, realizou-se o equilíbrio dos ganhos e perdas térmicas. As perdas ocorrem por opaco, translúcido e ventilação, cujo número de renovações do ar (N) é de no mínimo 6. A primeira análise foi realizada com $N = 6$, para encontrar o valor da diferença de temperatura (Δt).

Fez-se a análise da inércia térmica, que resultou no valor da temperatura interna máxima ou TBS. Este valor foi então lançado na Carta Psicrométrica e determinou-se o valor da temperatura de bulbo úmido – TBU. Posteriormente foi realizado o cálculo do efeito chaminé, e os resultados foram lançados no Nomograma de Koenigsberger onde se determinou a situação de conforto para três velocidades do ar: $0,05\text{m.s}^{-1}$, $0,1\text{m.s}^{-1}$ e $0,5\text{m.s}^{-1}$.

A última etapa do cálculo consistiu na aproximação do resultado encontrado com o efeito chaminé e o ajuste do número de renovações estabelecido no início do cálculo. Quando os valores se aproximaram, repetiu-se o lançamento dos resultados no Nomograma e a determinação da situação de conforto. Com os resultados encontrados no método CSTB, simulações no software Arqitrop foram realizadas para um comparativo do regime térmico permanente do primeiro com o regime térmico transitório do segundo.

Para realizar as simulações no Arqitrop um roteiro disponibilizado pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído, pertencente à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPA – LADEC/FAU/UFPA foi utilizado. Primeiramente, alimentou-se o banco de dados de materiais, com a inserção da Espuma vinílica acetinada (e.v.a), que não existia. Em seguida formou-se um novo componente para a cobertura, criando dessa forma o conjunto calculado no CSTB composto pelas camadas de concreto, e.v.a, concreto e isopor.

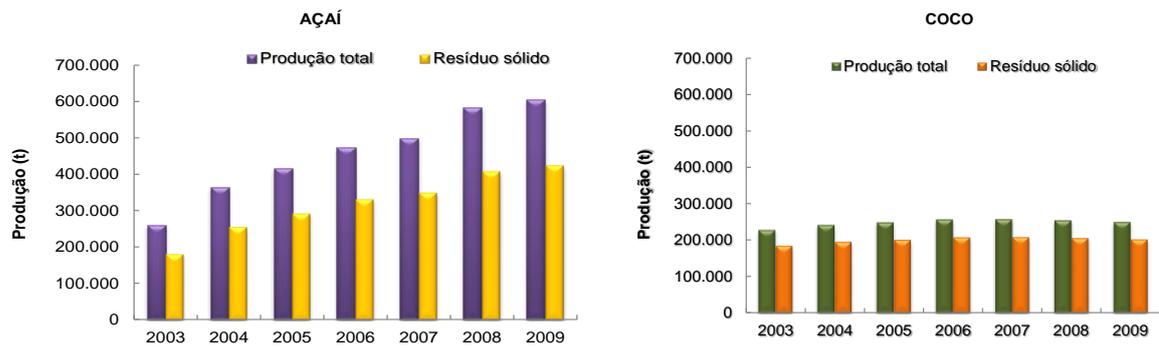
Posteriormente, um novo croqui foi estabelecido com as mesmas especificações de material e espessura calculados no CSTB, e o valor do Coeficiente global de transmissão térmica (k) foi calculado. Vencidas estas etapas, uma nova ficha de projeto foi incluída e os dados da sala de aula da unidade pedagógica foram informados, finalizando a simulação.

3. Resultados e Discussões

Para auxiliar no entendimento dos resultados quanto ao processo de verticalização da grande Belém, análises de materiais e concepção projetual fez-se apresentação e discussão em tópicos, conforme descritos a seguir.

As estruturas com tetos verdes propostas nos blocos administrativos e educacional, seguiram os pressupostos utilizados por Barbosa et al. (2011b). Vale ressaltar que a quantidade de resíduo de caroço de açaí em 2009, na grande Belém, foi em torno de 600 mil toneladas e, de coco próximo a 200 mil toneladas (Figura 5), que foram descartados como lixo urbano.

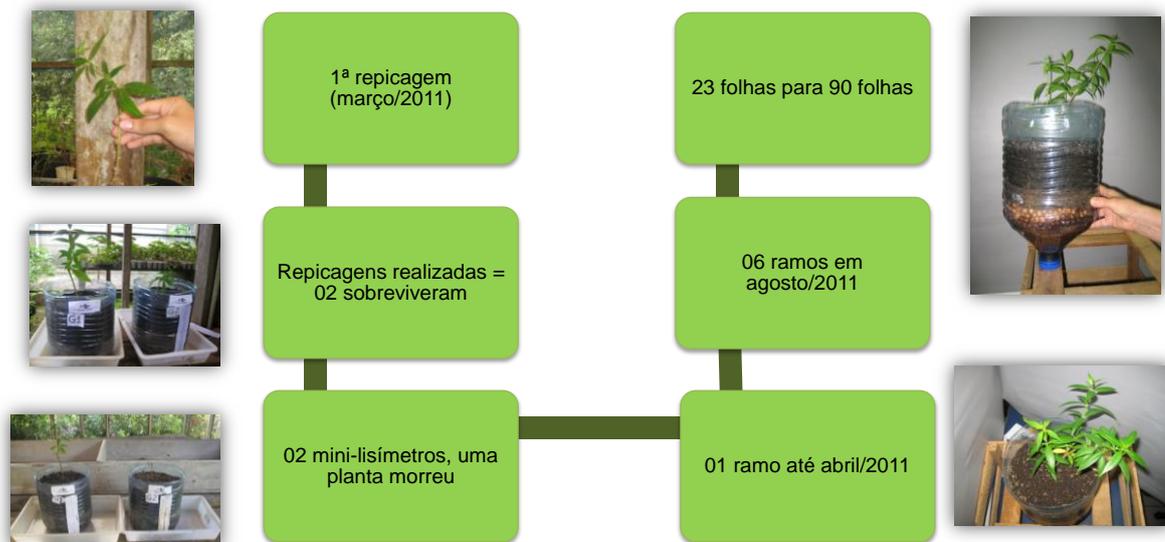
Figura 5: Quantitativo de produção e de resíduos de açaí e coco entre 2003 e 2009.



Fonte de dados: IBGE-GCEA- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LSPA/2003 a 2009. Fonte: Barbosa (2012).

Em relação à planta estudada nos mini-lisímetros, observou-se que na primeira repicagem, realizada em março de 2011, houve crescimento, em cinco meses, de um (01) para seis (06) ramos e o número de folhas que em abril era de 23 chegou a 90 folhas, no mês de agosto (Figura 6), reforçando o potencial de uso da espécie em tetos verdes, servindo inclusive como planta ornamental em decorrência do rápido crescimento e rápida capacidade de floração.

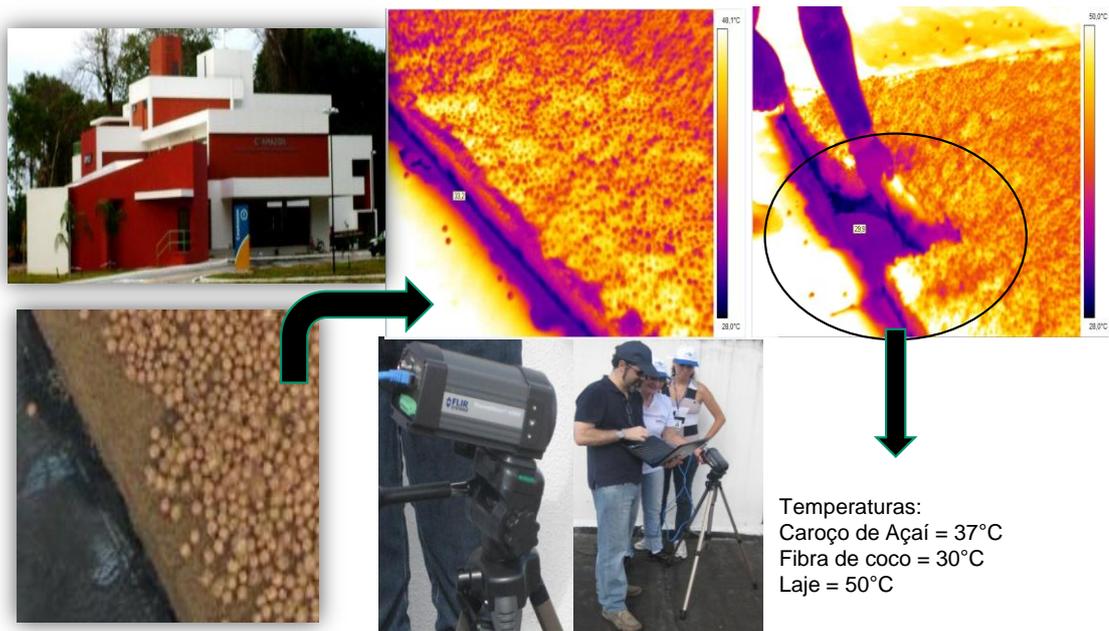
Figura 6: Etapas evidenciando o processo de evolução da planta.



Fonte: Barbosa (2012).

Em análises realizadas no Centro de excelência em eficiência energética da Amazônia, CEAMAZON, confirmou-se o potencial de redução de carga térmica dos componentes que formam o teto vegetado, pois a temperatura da laje atingiu, por volta das 15 horas, cerca de 50 °C, enquanto que a fibra de coco apresentou 30 °C e o açaí que estava diretamente exposto, 37 °C (Figura 7).

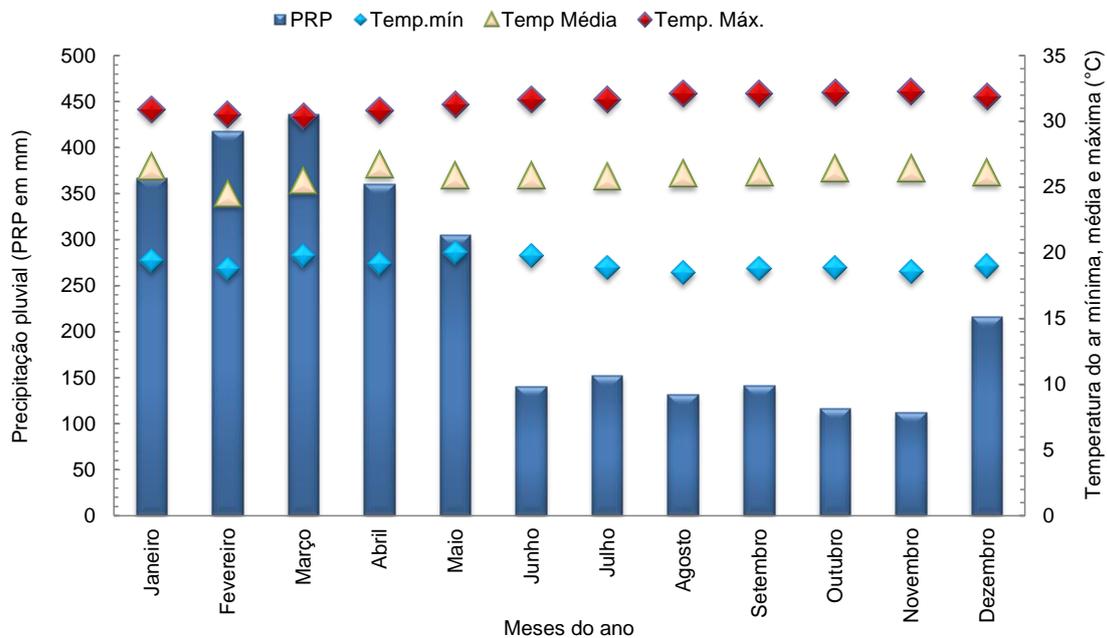
Figura 7: Análises termográficas de componentes dos tetos verdes.



Fonte: Barbosa (2012).

A amplitude térmica, de cerca de 20 °C apresenta-se como indicativo importante, principalmente para cidades como Belém que não apresentam grandes diferenças de temperatura mínima e máxima (Figura 8), e geralmente o uso de condicionador de ar é permanente, evidenciando-se que tetos verdes podem reduzir as cargas térmicas e ampliar a eficiência energética em edificações na capital paraense.

Figura 8: Temperaturas mínimas, médias e máximas, e precipitação pluviométrica em Belém.

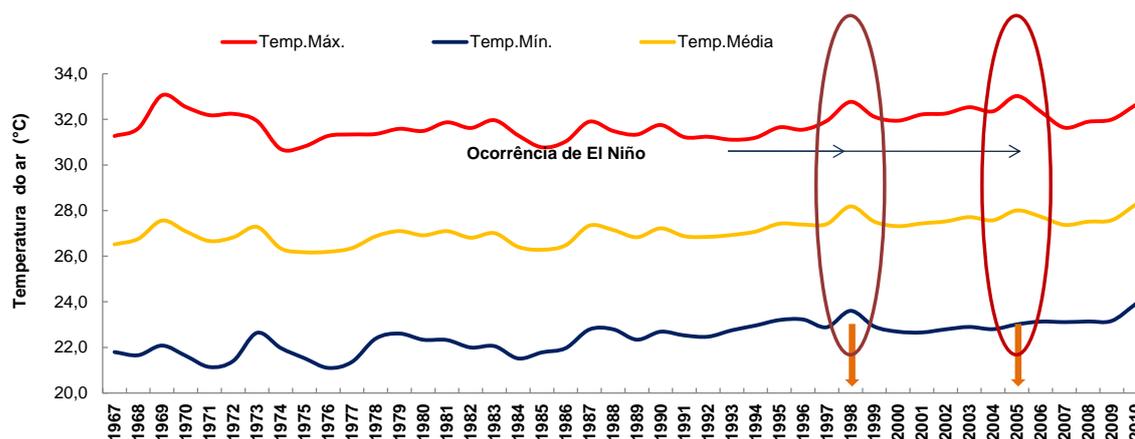


Fonte: Barbosa (2012).

Em paralelo ao potencial de redução de carga térmica, os tetos verdes também proporcionam uma contenção de águas pluviais, conhecido como “runoff”, essencial para Belém que possui um alto índice de chuvas, chegando a atingir valores médios de 450 mm, em março.

Vale salientar que as temperaturas do ar e a precipitação pluvial, podem sofrer influência dos fenômenos de meso e grande escala (MARTORANO et al., 1992, MARTORANO et al., 2017). Em anos de Oscilação Sul (ENOS), ocorre redução das chuvas pelo fenômeno de El Niño e aumento da precipitação, em anos de La Niña (Figura 9), indicando que essas variáveis devem ser consideradas no planejamento de tetos verdes.

Figura 9: Ocorrência de eventos de El Niño no período entre 1967 e 2009.



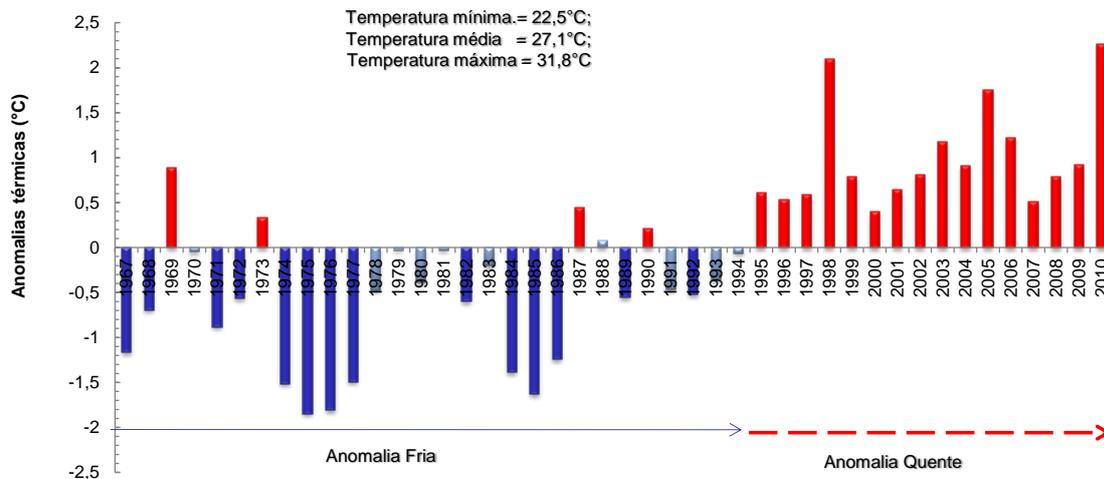
Fonte: Barbosa et.al (2016a).

Ao analisar os dados das Normais climatológicas (INMET, 2009) observou-se que as temperaturas máximas em Belém atingem seus valores mais elevados no período menos chuvoso (junho a novembro), alcançando 32,3 °C, em média, no mês de novembro. Na série histórica de 1967 a 2010, a maior temperatura diária foi 33,1 °C em novembro de 1969, associado a anomalia quente, conforme discutido em Barbosa et al. (2011a) e Barbosa et al. (2016a).

Em termos de temperaturas mínimas climatológicas, o menor valor registrado foi de 21,6 °C, no mês de outubro. Na série de dados avaliada, verificou-se que o menor valor foi de 21,1 °C, indicando uma situação de anomalia fria em 1971 e 1976, sendo a temperatura média do período estudado de 27,1 °C. As temperaturas mínimas nesses 44 anos de observações variaram entre 21,1 a 23,9 °C, sendo que 73% das mínimas concentram-se na faixa de 21,9 a 23,5 °C, e 22,7 °C a mínima mais frequente.

As temperaturas máximas da série ficaram cerca de 80% abaixo das Normais Climatológicas, mas 100% das temperaturas médias da série analisada superaram a climatologia térmica média, influenciadas pelas temperaturas mínimas que atingiram 90% dos valores superiores ao padrão climático. Ao comparar os valores de anomalias, identificou-se que a partir de 1995 houve dominância das anomalias quentes, que podem estar associadas à mudança do skyline da cidade (Figura 10).

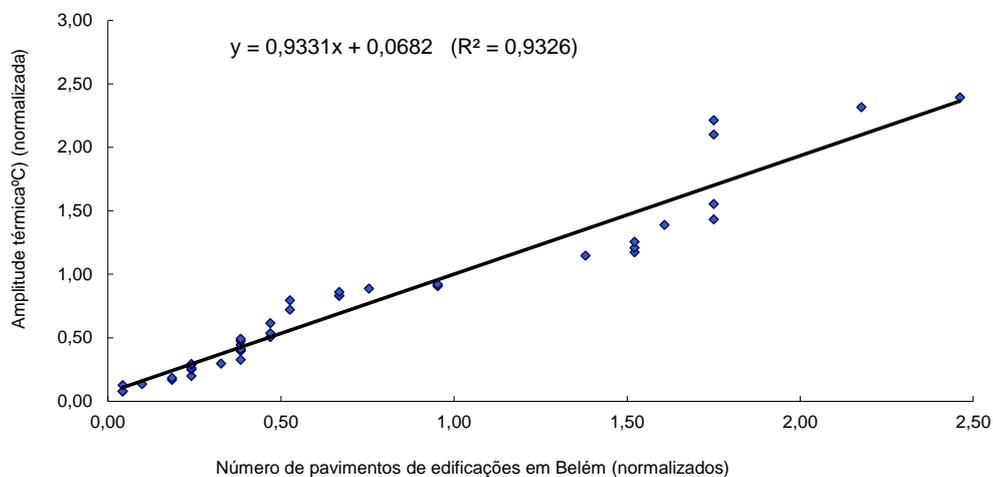
Figura 10: Anomalias térmicas (frias e quentes) da temperatura média do ar, no período entre 1967 a 2010, em Belém, Pará.



Fonte: Barbosa et.al (2011a).

Ao relacionar o aumento do número de pavimentos com as amplitudes térmicas verificou-se que 93% das variações estão correlacionadas com a verticalização na grande Belém (Figura 11). Neste sentido, o uso de tetos verdes visa mitigar os efeitos de bolsões de calor, potencializando a redução da temperatura pelo resfriamento decorrente das taxas evapotranspiratórias da vegetação.

Figura 11: Número de pavimentos relacionados às amplitudes térmicas na grande Belém no período de 1967 a 2009.



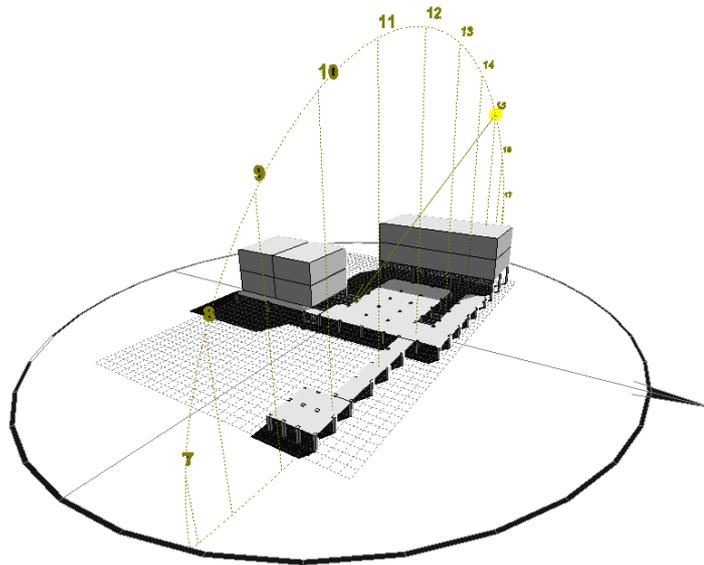
Fonte: Barbosa et.al (2011a).

A partir da primeira derivada da equação de correlação, observa-se que no período de 1967 a 2009, Belém sofreu um aquecimento de aproximadamente de 1 °C, reforçando a proposta dos tetos verdes como mitigadora de ilhas de calor na grande Belém.

A volumetria final da proposta arquitetônica é composta por elementos de linguagem cujas características harmonizam o edifício ao seu entorno e paisagem, por exemplo, espaços avarandados, áreas com cheios e vazios e que imprimem o conceito de permeabilidade à edificação. Venezianas foram aplicadas como elementos para proteção, ventilação, e contemplação de espaços externos e internos. Já o painel de vidro somente foi utilizado a partir da análise de sombreamento (Figuras 12 e

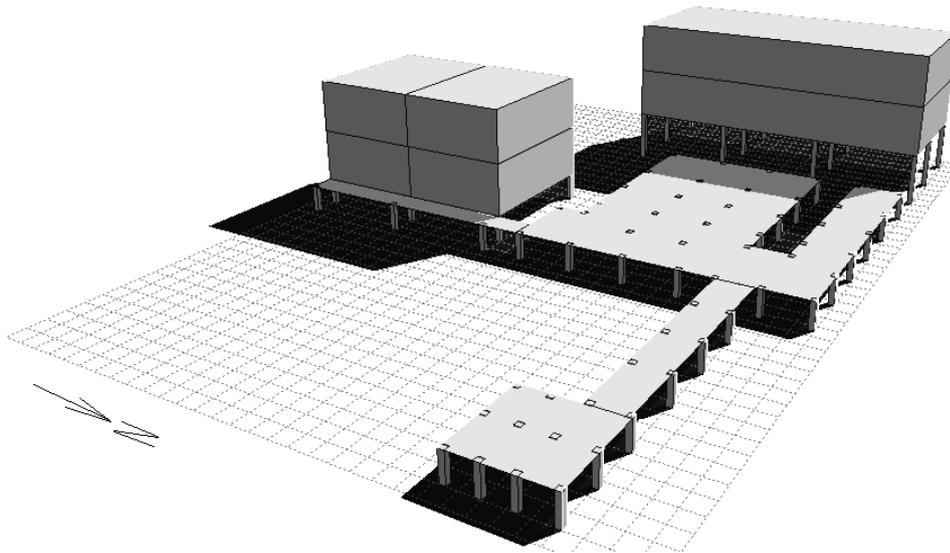
13) para o período da tarde, onde a referida fachada translúcida está protegida da insolação direta (Figura 14).

Figura 12: Estudo de insolação.



Fonte: Barbosa (2012).

Figura 13: Estudo de sombreamento.



Fonte: Barbosa (2012).

Figura 14: Destaque para as fachadas envidraçadas.



Fonte: Barbosa (2012).

As coberturas receberam tratamento especial com o uso de tetos verdes, que proporcionam a imersão da edificação no contexto em que está inserida, valorizando a natureza local, mesclando-se com a floresta da ilha, e também com o uso da cobertura de palha, tipicamente ribeirinha foi utilizada no espaço de socialização e na maloca que serve como refeitório da unidade pedagógica (Figura 15).

Figura 15: Tipos de cobertura da unidade pedagógica.



Fonte: Barbosa (2012).

Os vazios entre os blocos são projetados para a inserção da vegetação ao projeto, e o uso dos pilotis e consequente descolamento da edificação junto ao piso, como mais uma das formas de imprimir o conceito de permeabilidade à edificação. A rampa consegue criar unidade de volume com os dois blocos que interconecta, tornando a edificação única, ainda que possua desníveis diferenciados. A proteção da rampa contra rajadas de ventos com chuvas é realizada com um painel verde formado por uma tela e vegetação trepadeira, conforme a Figura 16.

Figura 16: Proteção verde da rampa.

Fonte: Barbosa (2012).

Propostas de soluções sustentáveis para ambientes na interface urbano/rural justificam-se também para ambientes insulares, como é o caso do Combú, onde em razão da precariedade da prestação de serviços energéticos, é necessário o máximo aproveitamento da oferta atmosférica, visto que o funcionamento de condicionadores de ar e ventiladores está limitado à disponibilidade de energia elétrica.

O reaproveitamento de materiais lenhosos e madeireiro em abundância na região, apresenta-se como soluções viáveis, passíveis de apontar indicadores de sustentabilidade em propostas arquitetônicas na Amazônia. Soluções de materiais construtivos como os apresentados por Barbosa (2016) e Barbosa et al. (2019) com o reaproveitamento do caroço de açaí descartado indevidamente no meio ambiente urbano, surge como potencial agregador de sustentabilidade no sistema construtivo de edificações, sendo utilizando como placas ou painéis, bem como forros ou outros elementos para a arquitetura de interiores e decoração.

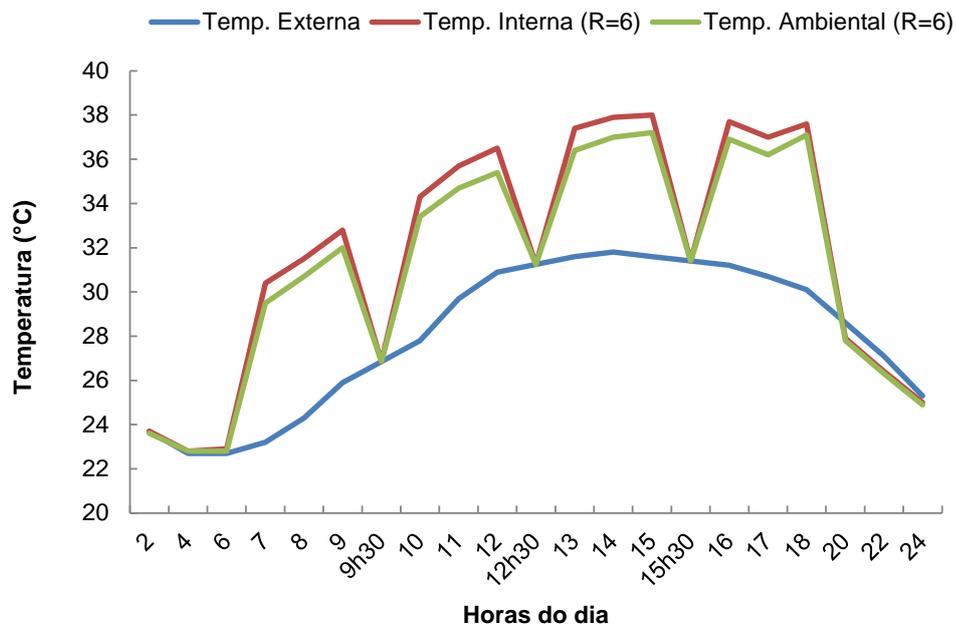
Além disso, o aproveitamento de resíduos oriundos de produtos regionais como o açaí (BARBOSA et al., 2016b), podem ser utilizados em projetos arquitetônicos. Um desses exemplos pode estar relacionado ao material lenhoso, ou de madeira existente nas áreas de interesse urbanístico. Também, entre as alternativas poderiam ser utilizadas as madeiras apreendidas pelo IBAMA, com o propósito de minimizar a “pegada” de carbono pelo desflorestamento ilegal, sendo uma excelente estratégia de retorno à sociedade, principalmente na construção de escola em comunidades carentes, como na ilha do Combú (BARBOSA, 2012).

Para a edificação sem proteção de dispositivos solares como os brises, e com apenas 6 renovações do ar, a zona de conforto, que está no intervalo que vai de 22 °C e 27 °C, sendo o ótimo 25,5 °C, não é alcançada. Nesta situação, somente com mais de 90 renovações do ar, a uma velocidade maior ou igual a 0,1m.s⁻¹ é que se aproxima da zona de conforto.

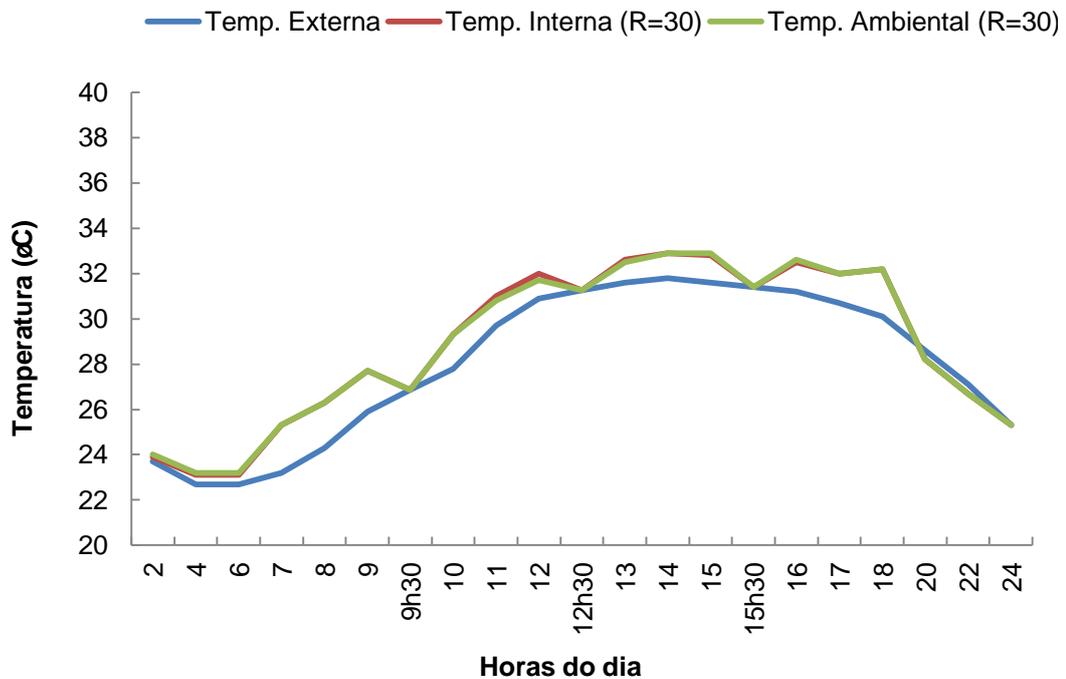
Para a edificação com mascaramento, ou seja, com proteção, 6 renovações de ar ainda não são suficientes para se alcançar a zona de conforto. Nesta situação, somente com mais de 80 renovações do ar, a uma velocidade maior ou igual a 0,1m.s⁻¹, é que se aproxima da zona de conforto. No comparativo de coeficiente global de transmissão térmica, para a análise no Arqutrop aproximar-se dos resultados do CSTB, foi necessário a remoção de duas camadas que compunham a cobertura: o concreto (Contrapiso) e o e.v.a.

Os resultados simulados no Arqitrop, considerando o comportamento da sala de aula em intervalos horário de duas horas nas condições da sala com os alunos em aula e na sala vazia, durante o período de recreio. Observa-se na Figura 17(A e B) que nos momentos simulados referentes ao período de recreação, ocorre uma queda brusca na temperatura.

Figura 17: Relação da ocupação e temperatura na sala de aula, com 6 (A) e 30 (B) renovações do ar.



A



B

Fonte: Barbosa (2012).

Por outro lado, no momento seguinte de retorno das aulas é notório a elevação térmica em decorrência da presença dos alunos em sala de aula. Esses resultados reforçam a importância do uso de ferramentas computacionais para subsidiar estratégias de reduções de cargas térmicas em ambientes construídos, principalmente em escolas como na proposta de construções bioclimáticas na Amazônia.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos neste trabalho conclui-se que:

- A adoção de conceitos e fundamentos de conforto ambiental potencializam propostas de construções bioclimáticas na Amazônia;
- O uso de soluções sustentáveis como os tetos e superfícies verdes atenuam efeitos de cargas térmicas elevadas em edificações, principalmente sob a energia incidente em áreas localizadas em baixas latitudes, como é o caso da APA da ilha do Combú;
- O reaproveitamento de materiais regionais descartados, a exemplo do caroço de açaí e a fibra de coco são estratégias de mitigação de carga térmica e de “Pegada de Lixo” em arquitetura vernacular sustentável na Amazônia; e
- A unidade pedagógica proposta se integra ao ambiente, permitindo ventilação cruzada permanente, bem como de ventilação forçada para os períodos mais críticos do dia e do ano, além da proteção das fachadas com dispositivos solares e sombreamentos.

5. Referências

- AMBRIZZI**, A. B. P. e T. Uma associação entre as anomalias da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico e a temperatura, geadas e precipitação na estação meteorológica do IAG/USP, em São Paulo, durante o período de inverno. Anais. São Paulo: USP. Departamento de Ciências Atmosféricas. 2002. p.165-179.
- BAKER**, G. H. Le Corbusier: uma análise da forma. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- BARBOSA**, A. de M.; FRANCO, I. M.; MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A. Influência da verticalização na temperatura do ar e tetos verdes para mitigar o efeito térmico na grande Belém. In: XV Seminário de Iniciação Científica da Embrapa. Anais. Belém: Embrapa, 2011a.
- BARBOSA**, A. de M.; FRANCO, I.; MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A. Volume de água precipitado para subsidiar avaliações da capacidade de suporte de edificações com tetos verdes mitigadores de ilhas de calor na cidade de Belém, Pará. In: 63ª Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Anais. Goiânia: UFG, 2011b.
- BARBOSA**, A. de M. Proposta arquitetônica de uma unidade pedagógica sustentável em área legalmente protegida: APA da ilha do Combú, Pará. Trabalho Final de Graduação, 2012, UFPA.
- BARBOSA**, A. de M. Compósitos poliméricos com resíduos de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco alternativas em habitações na Amazônia. Dissertação (Mestrado), 2016, UFAM.
- BARBOSA**, A. de M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. A. Edificações verticalizadas e efeitos associados às condições térmicas em Belém, Pará. In: SBE Brazil & Portugal: Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment Anais ISBN: 978-85-92631-00-0. Vitória, ES, 2016a.
- BARBOSA**, A. de M.; PORTELA, G. O. de S.; FILHO, J. A. M.; GIACON, V. M. Análise de fibras de Malva (*Urena lobata linn*) após ciclos de molhagem e secagem, como subsídios para aplicação em tetos verdes. In: 67ª Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Anais. Santa Catarina: UFSCar, 2016b.



- BARBOSA**, A. de M.; **REBELO**, V. S. M.; **MARTORANO**, L. G.; **GIACON**, V. M. Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. *Revista Matéria (Online)*, v. 24, n.3, 2019.
- CORBELLA**, O.; **YANNAS**, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 288p.
- INMET**. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas (1961-1990). INMET, 2009. 465p. Brasília, DF.
- IPCC** 2007. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Metz, B., Davidson, O., Coninck, H., Loos, M., Meyer, L.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- LAMBERTS**, Roberto; **DUTRA**, Luciano; **PEREIRA**, Fernando Oscar Ruttkay. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997. 192p.
- MACIEL**, C. A. Villa Savoye: arquitetura e manifesto. *Arquitextos* n .024.07, ano 02, mai 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.024/785>>. Acessado em: 23 de jan. 2011.
- MARTORANO**, L.G.; **PEREIRA**, L.C.; **COSTA**, A.C.L. Da Variabilidade da Precipitação pluviométrica em Belém-Pará Associada ao Fenômeno “EL NIÑO”. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, 1992.
- MARTORANO**, L. G.; **VITORINO**, M. I.; **SILVA**, B. P. P. C.; **MORAES**, J. R. DA S. C.; **LISBOA**, L. S.; **SOTTA**, E. D.; **REICHARDT**, K. Climate conditions in the eastern amazon: rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. *African. Journal Agricultural Research* 12, p. 1801-1810, 2017.
- MELLO**, F.A. A verticalização em Belém do Pará: um estudo das transformações urbanas e arquitetônicas em edifícios residenciais multifamiliares. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 2007.
- MORENO**, P. G.; **FREITAS**, P. L. de. *Conhecendo a terra: um olhar ecológico sobre o planeta: 5º ano (4ª série)*. 1ª edição. Rio de Janeiro: Pollux, 2009.
- PARÁ**. Programa Municípios Verdes. <http://municipiosverdes.com.br/>. 2014. Disponível em: http://municipiosverdes.com.br/biblioteca_categorias/categoria/publicacoes. Acesso em: 23 fev.2013.
- PNUMA**, 2011, Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza – Síntese para Tomadores de Decisão. www.unep.org/greeneconomy.
- ROMERO**, Marta Adriana Bustos. A arquitetura bioclimática do espaço público. Brasília: Universidade federal de Brasília, 2007. 226p. (Arquitetura e Urbanismo).
- SANTOS**, L. S. dos; **MARTORANO**, L. G.; **COSTA**, D. C.; **BARBOSA**, A. M.; **MARQUES**, M. C.; **MORAES**, J. R. da S. C. de; **BARBOSA**, A. de M.; **MONTEIRO**, S. do N.; **NACIF**, A.; **ROCHA**, E. P. da. In: 67ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC. Anais. Santa Catarina: UFSCar, 2016.
- VALESAN**, M.; **FEDRIZZI**, B.; **SATTLER**, M. A. Vantagens e desvantagens da utilização de peles-verdes em edificações residenciais em Porto Alegre segundo seus moradores. *Ambiente Construído (Online)*, v. 10, p. 12851, 2010.