

2. Contextualização

2.1. Arquitetura Bioclimática

Nos climas quentes, uma parcela expressiva dos gastos energéticos nas edificações é com a refrigeração dos ambientes, já nos climas frios, com a calefação. No Brasil, segundo publicação do Procel¹ em 2005, 32% da energia elétrica residencial foi consumida com refrigeração. A possibilidade de redução desses gastos – que estão em crescimento – depende inclusive de decisões de projeto.

Adotamos, portanto, o conceito apresentado pelos irmãos Aladar e Victor Olgyay (1963), que incorpora às premissas do projeto de arquitetura as variáveis climáticas, tirando partido das condições favoráveis ao conforto térmico e se resguardando das adversas. Ou seja: um design para cada clima.

O sistema construtivo em desenvolvimento de que tratamos poderá ser versátil para diferentes climas, porém, neste trabalho, buscamos apenas soluções para o clima quente e úmido, como o da Cidade do Rio de Janeiro, clima que, segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT NBR 15.220, 2005), abrange mais da metade do território nacional (figura 1).

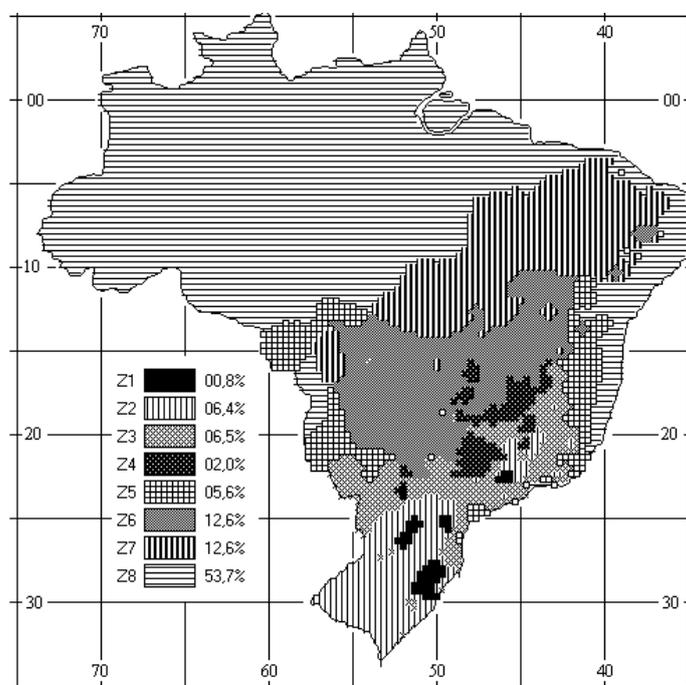


Figura 1: Zoneamento Bioclimático Brasileiro, em que a Cidade do Rio de Janeiro está localizada na Zona 8 (ABNT NBR 15.220-3, 2005, p.2).

¹ PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
www.eletronbras.com.br/procel.

Esta Norma divide o Brasil em oito diferentes zonas bioclimáticas, das regiões mais frias às mais quentes e úmidas, tendo como parâmetro a temperatura e a umidade do ar, onde são consideradas as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e as médias mensais das umidades relativas² máximas e mínimas. Apresenta também estratégias de projeto para cada zona bioclimática: “Formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática” (IBID., p.17). Tais estratégias são adaptações à Carta Bioclimática apresentada por Givone (1992), para países em desenvolvimento, promovidas por Goulart et al. (1994) e incorporadas à NBR 15.220 (2005). Para a Zona 8, recomenda:

- i) Paredes leves e refletoras;
- ii) Cobertura leve e refletora;
- iii) Grandes aberturas de ventilação;
- iv) Sombreamento das aberturas;
- v) Ventilação cruzada permanente, com atenção à direção dos ventos.

Chama-se atenção, também, para os benefícios da ventilação do ático (vão entre o forro e o telhado).

Reproduzimos na pagina seguinte uma Carta Bioclimática construída sobre diagrama psicrométrico³, gráfico onde no eixo horizontal está escalada a temperatura do ar, em graus Celsius, e no vertical a umidade absoluta⁴, em gramas de vapor d'água por quilograma de ar seco. As linhas curvas da carta representam a umidade relativa marcada a cada 10 pontos percentuais, até o limite de saturação (100%). Na carta está delimitada a zona de conforto térmico e outras regiões sobre as quais a zona de conforto pode ser expandida pela adoção de estratégias específicas no projeto de arquitetura.

Sobre a carta foram apostos 8.760 pontos correspondentes às coordenadas das temperaturas do ar com a umidade relativa, hora a hora, de um ano climático de referência para a Cidade do Rio de Janeiro, formando uma mancha na região de maior umidade relativa (figura 2).

² Umidade relativa – é o quociente (%) da massa de vapor d'água contida no ar, em determinado momento, pelo máximo que o ar pode conter com a mesma temperatura e pressão.

³ Psicrometria é o estudo do ar úmido e das mudanças em suas condições.

⁴ Umidade absoluta ou razão de umidade – é o conteúdo de vapor d'água no ar (g/kg).

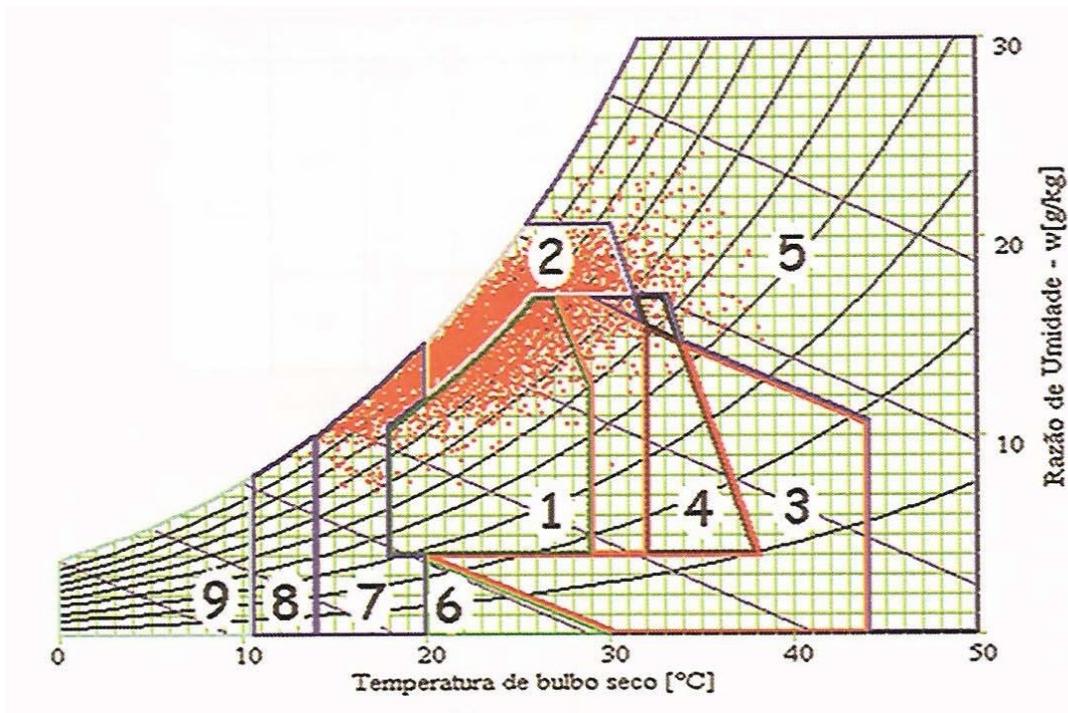


Figura 2: Carta Bioclimática do Rio de Janeiro. Região – 1. zona de conforto; 2. estratégia de ventilação; 3. resfriamento evaporativo; 4. inércia térmica para resfriamento; 5. ar-condicionado; 6. umidificação; 7. inércia térmica para aquecimento; 8. aquecimento solar passivo e 9. aquecimento artificial (LAMBERT et al., 1997, p.124).

Observando a carta, vemos que em torno de 20% dos pontos estão na zona de conforto; 65% em zonas quentes e 15% em zonas frias. O frio poderia ser resolvido pela estratégia da inércia térmica (região 7). Esta mesma estratégia resolveria 5% do calor (região 4), e a estratégia de ventilação (região 2) daria conta de 57%, restando 3% das horas sem solução passiva, necessitando de ar-condicionado para atingir a zona de conforto (GIVONE, 1992; GOULART et al., 1994; LAMBERT et al., 1997).

Além da racionalização do consumo de energia durante a vida útil da edificação, inclusive pelo aproveitamento da iluminação natural, o conceito de arquitetura bioclimática é estendido à escolha dos materiais de construção, optando-se pelos regionais, ou seja, os que devem ser extraídos e beneficiados próximo ao local de execução da obra, minimizando os custos de transporte.

2.2. Desmaterialização dos produtos

Este conceito é apresentado por Manzini (2008, p.52) e implica “(...) uma mudança no papel do produtor e na própria ideia de produto”, o que significa oferecer “(...) um *mix* de produtos e serviços que responda à demanda de bem-

estar usando o mínimo possível de recursos ambientais”. No campo da construção civil resultará em sistemas construtivos leves, utilizando menos matéria e energia.

Tal conceito vai além dos materiais e engloba todos os procedimentos do sistema construtivo, incluindo as etapas de fabricação e montagem, facilitadas pela simplicidade das ações e a moderada utilização de equipamentos sofisticados. Com isso se favorece a produção artesanal ou seriada, em pequenos polos de produção, reduzindo o deslocamento de objetos e pessoas.

Para esse conceito dar frutos é necessário: criatividade, inovação tecnológica, ação empresarial e decisão oficial, voltadas para a redução do consumo de matérias-primas sem a perda de qualidade. “Assim se poderia superar a correlação entre crescimento econômico e crescimento do consumo de recursos e desenvolver uma economia capaz de prosperar mesmo em quadros de consumo decrescente de materiais” (MANZINI, 2008, p.54).

Não podemos esquecer que, em se tratando de conforto térmico das edificações, ao subtrair matéria, estamos reduzindo espessura e massa dos materiais de construção, e desse modo retirando a inércia térmica e aumentando a transmitância térmica. Como vimos no item anterior, a inércia térmica pode ser útil para a manutenção do conforto em algumas situações, retardando a entrada do calor no ambiente. O mesmo vale para a espessura, quando se trata de resistência à passagem do calor. A Norma (ABNT NBR 15.575-4, 2010, p. 20 e NBR 15.575-5, p.24) estabelece valores máximos de transmitância térmica “U” para paredes externas e coberturas. Na Zona Bioclimática 8, são estes os valores: paredes claras $\leq 3,7$ W/m²K; paredes escuras $\leq 2,5$ W/m²K; coberturas claras $\leq 2,3$ W/m²K e coberturas escuras $\leq 1,5$ W/m²K.

No clima quente e úmido, a inércia e a espessura podem ser substituídas por materiais isolantes térmicos (HERTZ, 1998, p.101).

2.3. Ciclo de vida do produto

Trabalhamos com o bambu, nos seus estudos, nas suas técnicas, nas suas possibilidades. Muita gente aparece em nosso Laboratório querendo saber dele. Quando perguntamos o porquê deste interesse, o comum é nos responder: porque é ecológico ou é autossustentável. Ficamos um pouco sem jeito do que por obrigação temos que dizer: o bambu seja no plantio, na plantação, na colheita, no beneficiamento ou quando feito objeto, não garante por si só resultados benéficos ou maléficis relacionados à autossustentabilidade. Pois, como qualquer objeto, esses resultados dependem estritamente do tipo de interação

com o meio físico e social que o envolve. (TEIXEIRA FILHO, CORREIA DE MELO e RIPPER, 2012, p.2)

O conceito de ciclo de vida do produto que adotamos é o introduzido por Manzini (2008), e não o termo utilizado na indústria – de onde se originou –, aplicado para análise mercadológica de um produto desde o seu ingresso (nascimento), a permanência (vida) e o declínio (morte), com sua retirada do mercado consumidor.

A relação tratada aqui se refere às trocas entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o produto desde a extração de suas matérias-primas até o seu descarte, passando pela fabricação, montagem e vida útil.

“Considerar o ciclo de vida quer dizer adotar uma visão sistêmica de produto, para analisar o conjunto dos *inputs* e dos *outputs* de todas as suas fases, com a finalidade de avaliar as consequências ambientais, econômicas e sociais” (MANZINI, 2008, p.92).

Essa visão já fora abordada por Papanek (1995), que atribui ao produto seis ciclos distintos com potencial de causar danos à ecologia: a escolha das matérias-primas, o processo de fabricação, a embalagem, o transporte, o produto acabado e o lixo. Manzini (2008) reforça tal abordagem reorganizando estes ciclos: pré-produção, produção, transporte, uso e descarte.

Quanto às matérias-primas, estabelecemos não utilizar as que sejam extraídas de jazidas subterrâneas pelo estrago provocado ao meio ambiente, assim como aquelas que utilizem explosivos na sua prospecção, dando preferência para as renováveis, como a de origem vegetal.

Na fabricação estabelecemos não utilizar ou gerar produtos poluentes nem utilizar elevadas temperaturas no beneficiamento de matérias-primas e nos processos de confecção dos materiais. Incluímos a possibilidade do reuso de materiais descartados ou o uso de material reciclado, desde que o processo de reciclagem atenda às mesmas exigências.

Em relação ao transporte estabelecemos que a extração das matérias-primas e a fabricação ocorram na região onde serão utilizados e executado com mão de obra local, para reduzir deslocamentos de pessoas e materiais como estímulo a *convivencialidade* (ILLICH, 1976).

Como se trata de um sistema construtivo, seus materiais devem ser resistentes às intempéries e aos usos a que forem solicitados para reduzir a necessidade de manutenção. Quanto à manutenção, se os materiais desenvolvidos

utilizarem pouca energia, a sua substituição ou reparo também terá pouco impacto energético. Já a racionalização do consumo energético ao longo da sua vida útil estará ligada às decisões de projeto que devem buscar soluções que privilegiem a iluminação e a ventilação naturais, além da defesa térmica à radiação solar.

Pensando no futuro descarte, estabelecemos produzir materiais renaturalizáveis, ou seja, após cumprirem a sua função construtiva, os seus dejetos se reintegram à natureza com facilidade. No caso da utilização de material reciclado que não seja biodegradável, este material será preparado para o reuso.

2.4 Revisão bibliográfica

As civilizações ao redor do planeta, fixas ou nômades, desenvolveram desde os primórdios técnicas construtivas adaptadas ao clima em que viviam, lançando mão dos materiais disponíveis ao seu redor. Nas regiões tropicais, os materiais mais usados foram os de origem vegetal e o barro. “O bambu é um dos mais antigos materiais de construção; a história de edificar com bambu provavelmente se inicia junto com a história do desenvolvimento da humanidade, e está longe de se encerrar” (DUNKELBERG, 1985).

O barro cru talvez seja o material mais utilizado pelo homem em várias regiões climáticas do planeta.

“Em quase todos os climas quentes e secos e temperados do mundo a terra tem sido o material de construção predominante. Até hoje um terço da humanidade vive em casas de terra, e em países em vias de desenvolvimento isto representa mais da metade” (MINKE, 2001, p. 13).

2.4.1 Construções nativas

As nações indígenas que habitaram o solo brasileiro se adaptaram perfeitamente ao clima quente e úmido utilizando materiais vegetais em suas construções, tanto na estrutura, na amarração, como na vedação, atingindo o estado da arte em arquitetura bioclimática, com conforto higrotérmico⁵ natural no interior de suas moradias.

Os primeiros relatos estrangeiros citam construções em estruturas de madeira e recobertas com vegetação, sem mencionar o uso de barro. Pero Vaz de

⁵ Conforto higrotérmico: existe uma relação indissociável entre a temperatura e a umidade do ar para o conforto humano; assim, em conforto ambiental se utiliza o termo *higrotérmico*, que considera ambos os fenômenos físicos.

Caminha, em sua carta ao rei de Portugal, relata sobre a visita a uma povoação: “(...) haveria nove ou dez casas, as quais eram tão compridas como a nau capitânia. Eram de madeira, razoavelmente altas, cobertas de palha e com ilhargas de tábua” (TUFANO, 1999, p.49).

Hans Staden, prisioneiro dos tupinambás na década de 1550, descreve uma oca:

“(...) chega a ter 14 pés de largura e até 150 pés de comprimento. A cabana mede cerca de duas braças⁶ de altura, sendo arredondada em cima como a abóbada de uma adega. Cobrem-na espessamente com folhas de palmeira, para proteger da chuva o seu interior” (SÜSSEKIND, 1999, p. 135).

Baseado em estudos mais recentes de Sálvia⁷ (1983) e Reis⁸ (1997) sobre os “buracos de bugre” (construções semienterradas encontradas do Rio Grande do Sul ao sul de Minas Gerais, algumas com mais de 3.000 anos), Weimer (2005, p.252-254) traça um paralelo entre tais construções e as do noroeste da Ásia, da cultura *ainu*, em que se utilizava barro sobre a cobertura para obter o conforto térmico proporcionado pela inércia, devido à amplitude térmica do clima local. No entanto, mesmo com a semelhança arquitetônica, afirma esse autor que no Brasil essas construções recebiam apenas cobertura vegetal (figura 3).

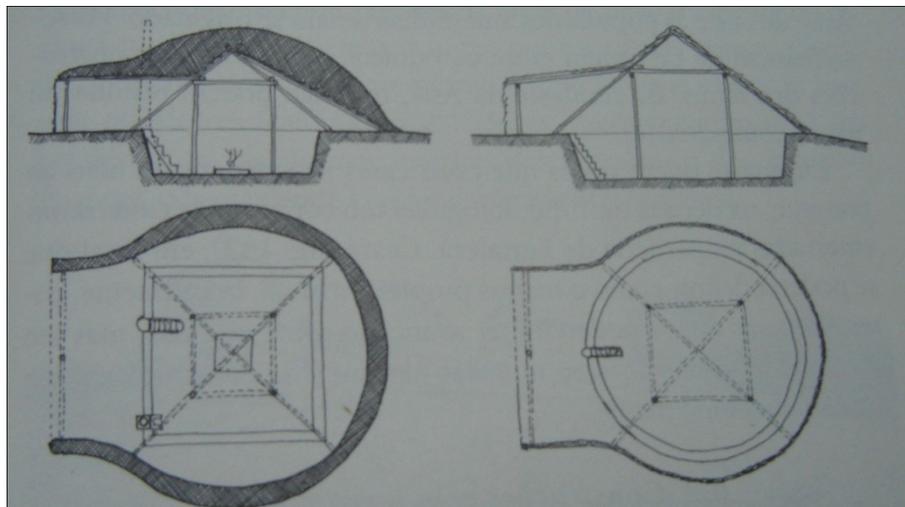


Figura 3: Nos esquemas à esquerda, corte e planta de construção recoberta com barro no noroeste da Ásia. Nos esquemas à direita, corte e planta de traçados semelhantes, porém com cobertura vegetal, no Brasil.

⁶ Braça: antiga medida de comprimento equivalente a 2,20 m.

⁷ SÁLVIA, F. A habitação subterrânea: uma adaptação ecológica. In: *A Arquitetura no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1983.

⁸ REIS, J.A. Para uma arqueologia dos buracos de bugre: do sistematizar, do problematizar, do propor. Dissertação (Mestrado em História) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – UFRGS, Porto Alegre, 1997.

(...) anteriormente à descoberta, os nossos índios, ao que parece, não conheciam o emprego da terra na construção. Seus abrigos, suas cabanas, em forma de colmeia, ou então arredondadas, eram sempre de madeira (paus roliços), cobertas de palha ou folhagens. Foram, sem dúvidas, os portugueses que aqui introduziram não só a forma quadrangular como o próprio emprego da terra na construção das casas. (MILANEZ, 1958, p.15)

Essa hipótese é endossada por Weimar (2005, p.58): “Uma das características das casas indígenas é a sua construção integral com materiais vegetais”.

Como o barro cru se reintegra totalmente ao solo, não podemos afirmar com certeza que as nações indígenas que habitaram o Brasil não o utilizaram em suas construções antes do contato com os portugueses. Não ficaram registros nem relatos sobre o seu uso. Se não o usaram foi porque não houve necessidade, uma vez que dominavam a técnica de cerâmica há milhares de anos.

“Os Sambaquis que estão ao norte da Bacia de Santos apresentam cerâmica muito característica, cuja argila foi acrescida de fragmentos de concha, para dar melhor consistência aos vasilhames (...). Trata-se da cerâmica mais antiga das Américas” (GASPAR, 2000, p.39).

Esse mesmo raciocínio pode se aplicar ao bambu, que, apesar da existência de várias espécies nativas, não constam nos registros. Tanto na estrutura principal dos esteios quanto na estrutura secundária que sustenta o invólucro das construções indígenas, utilizava-se a madeira maciça. Em registros mais recentes, na década de 1970, o bambu aparece como opção na estrutura secundária: “Fazendo-se necessário o emprego de um elemento curvo na estrutura (por exemplo, coberturas em abóbada ou ogiva), são confeccionados arcos com varas flexíveis ou bambu”. (RIBEIRO, 1987, p.42).

O uso dos materiais vegetais nas construções indígenas se deu pela facilidade de encontrá-los e firmou-se pelo desenvolvimento de técnicas construtivas e de design que garantiram conforto higrotérmico no interior das moradias, respondendo com precisão às exigências do clima quente e úmido. Assim, criou-se o que podemos chamar de um filtro arquitetônico, barrando o ingresso do sol e permeável ao ar (TEIXEIRA FILHO, 1995, p.10-11).

São diversificadas e criativas as soluções dos indígenas brasileiros para a arquitetura tropical. Weimar (2005, p. 41-51) cita várias delas, das quais, reproduzimos alguns exemplos (figuras 4 e 5).

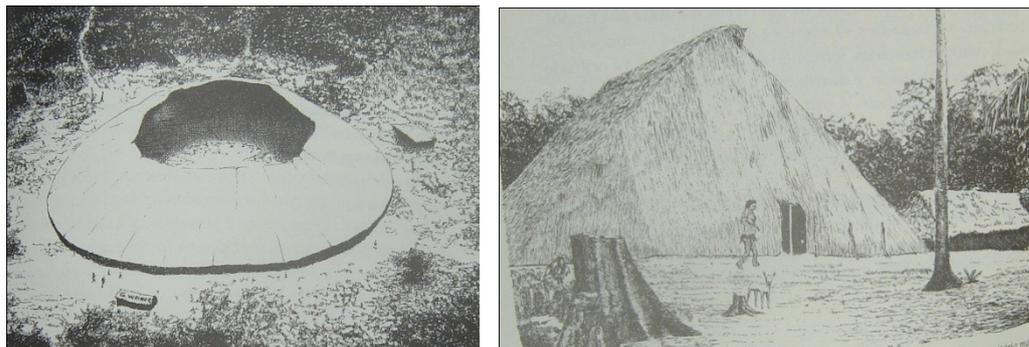


Figura 4: À esquerda, aldeia *ianomâmi*; à direita, casa unitária *marubo*. (WEIMER, 2005, figuras 34 e 35).



Figura 5: Casa de iniciação de meninos, aldeia *xavante*; à direita, *taba tupi*. (WEIMER, 2005, figuras 37 e 39).

Talvez a tipologia que tenha ficado mais forte no nosso imaginário seja a das construções com planta baixa elíptica sem distinção entre paredes e cobertura e com corte transversal em abóbada ogival, por suas proporções, “(...) podendo chegar a mais de 200 m de comprimento. O mais comum, no entanto, é que não passem de 150 m de comprimento por cerca de 12 m de largura” (WEIMER, 2005, p.48). Mas Zanini (1983, p.83), apesar de concordar que sejam as maiores e esclarecer que outras etnias também a adotaram (figura 6), afirma que o registro de maior dimensão ocorreu nas ocas dos índios Baniwa, do Rio Negro, com 45m de comprimento, 14 m de largura e 11 m de altura.

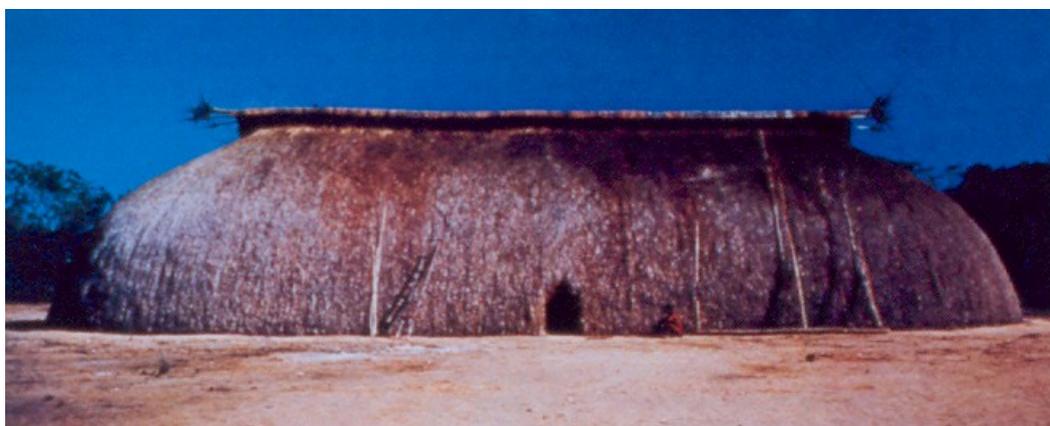


Figura 6: Oca do Alto Xingu – 25 m de comprimento, 10 m de largura, 7 m de altura (ZANINI, 1983, p. 83).

2.4.2. O conforto higrotérmico nessas construções

As exigências do clima quente e úmido são basicamente: o isolamento térmico da envoltória, a proteção das aberturas à incidência solar direta e a renovação do ar interior, para retirar a umidade em excesso, pela ventilação natural (CARVALHO, 1980, p.319; MASCARÓ, 1981, p.48; CORBELLA e YANNAS, 2003, p.37; BITTENCOURT, 2005, p.6; FROTA e SCHIFFER, 2001, p.71; BROWN e DeKAY, 2001, p.168).

Observando a figura 6, vemos que:

- i) as aberturas são pequenas, com a porta menor do que a altura de um homem, promovendo o mascaramento solar no interior;
- ii) o isolamento térmico é garantido pela espessura da envoltória: “(...) de 10 a 20cm de espessura, dependendo das necessidades do clima”(WEIMER, 2005, p. 60);
- iii) a altura da construção, com saída de ar zenital, permite a estratificação do ar no interior, criando o efeito chaminé. Em dias mais quentes, a vegetação é afastada junto ao chão para formar mais área de passagem direta do ar, de modo a incrementar o efeito chaminé, tomando-se o cuidado de fazer aberturas nas faces que não estão recebendo insolação direta;
- iiii) ocorre a perda de calor latente pela evaporação da umidade retida entre as camadas vegetais da vedação/cobertura, verdadeiro dissipador de calor, em função da permeabilidade à passagem do ar.

Ou seja, o conjunto resulta em microclima próprio, garantindo o conforto nos trópicos úmidos independentemente da orientação em relação aos pontos cardeais de sua implantação (figura 7). Ao dormir, os índios utilizam rede com trama aberta para aumentar a área de pele em contato com o ar.

E nos raros dias frios? São acesas pequenas fogueiras no interior, próximas aos grupamentos de redes, que não esfumaçam o ambiente devido ao efeito chaminé.

O único aspecto em que essa solução construtiva vegetal não atende o conceito de desmaterialização do produto é no fechamento com espessa camada vegetal (figura 8), que proporciona o sistema natural de ventilação e refrigeração.

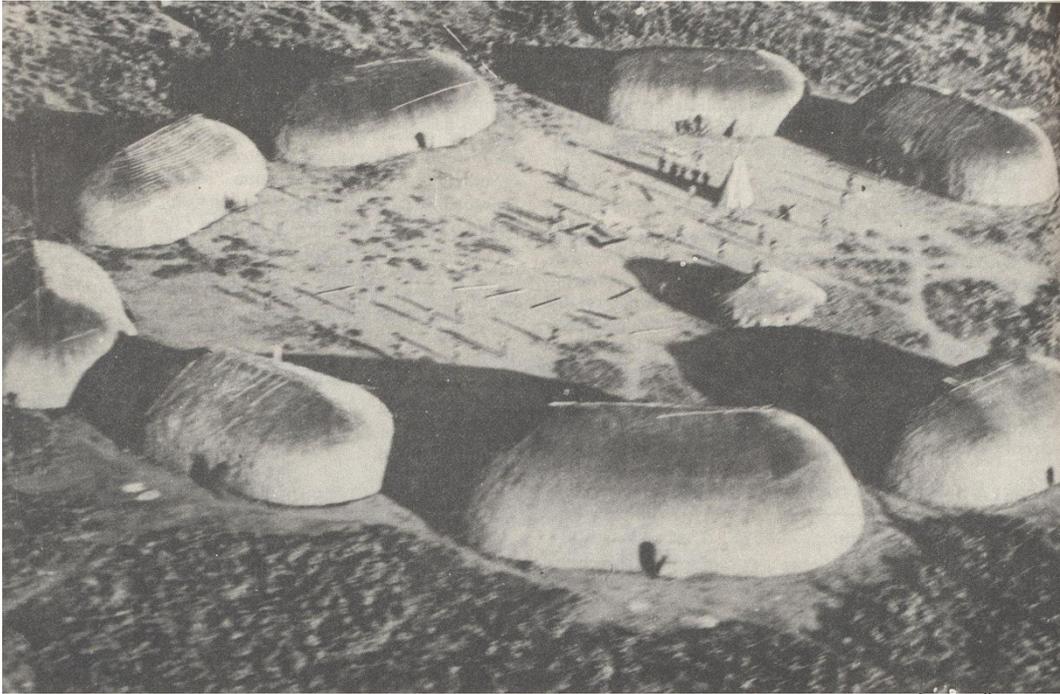


Figura 7: Aldeia índios Kamayurá, Parque Nacional do Xingu (foto Museu do Índio)⁹.



Figura 8: Oca em construção dos índios Kamayurá, Parque Nacional do Xingu (foto Museu do Índio).

No anexo 1 estão reproduzidas diversas tipologias construtivas registradas em RIBEIRO, 1983.

⁹ Reprodução de imagem publicada no texto “Habitação Indígena Brasileira” de Maria Heloísa F. Costa e Hamilton B. Malhano, *in* **Suma Etnológica Brasileira** 2ª edição (p. 27-94), coordenação Berta G. Ribeiro, 1983.