



## **PROPOSTA DE HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA PARA O CLIMA QUENTE E SECO**

**Mariana Brito de Lima (1); Ilanna Paula de Oliveira Macedo (2), Virgínia Maria Dantas de Araújo (3), Aldomar Pedrini (4)**

(1) Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da UFPB,  
[marianarquitectura@yahoo.com.br](mailto:marianarquitectura@yahoo.com.br)

(2) Departamento de Arquitetura / CT / UFRN, Campus Lagoa Nova, 59072-970 – Natal/RN,  
[ilannapaula@hotmail.com](mailto:ilannapaula@hotmail.com) ; (3) [virginia@ufrnet.br](mailto:virginia@ufrnet.br); (4) [apedrini@ufrnet.br](mailto:apedrini@ufrnet.br)

### **RESUMO**

O artigo propõe um projeto de residência para o clima quente seco, com ênfase na bioclimatologia e permacultura. Trata-se de uma proposta específica para uma eco-vila destinada ao refúgio e ao turismo de baixo impacto ambiental, próximo ao açude Gargalheiras, em Acari/RN. O artigo destaca os fundamentos e as recomendações projetuais e as compatibiliza com o programa do empreendimento. Os pré-projetos e alternativas são analisadas através da simulação do desempenho térmico no programa VisualDOE 3. Os resultados demonstram os benefícios das abordagens e confirmam tendências projetuais relacionadas ao uso de ferramentas de simulação.

### **ABSTRACT**

The article describes a residence project based on permaculture and bioclimatology, in a hot and dry climate. The project was idealized as a dwelling for retreat in an eco-ville, with concerns on low environmental impact. Firstly, the study focuses on the fundamentals and the recommendations related with permaculture and bioclimatology, and defines the strategies for the program phase. Secondly, the sketch and detailing phases are developed with the support of energy simulation with VisualDOE 3. The results confirm the advantages of the approaches and the design tendencies related with the integration of energy tools.

### **1. INTRODUÇÃO**

A proposta desse trabalho é a elaboração de um projeto arquitetônico compatível com os preceitos da permacultura, a partir da aplicação de estratégias bioclimáticas. O estudo projetual faz parte do trabalho de final de curso do período 2005/02 do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que propôs o planejamento, implantação e projeto arquitetônico de uma ecovila no interior do Rio Grande do Norte, de clima quente e seco.

### **2. PERMACULTURA E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA**

Segundo os preceitos da permacultura, a arquitetura bioclimática é a que mais se identifica com suas propostas: consiste no controle dos fluxos de energia entre o ser humano e o entorno (LIMA, 1995). O atendimento do conforto deve ser obtido preferencialmente através de recursos passivos, isto é, que não consomem energia, a exemplo da ventilação natural, barreiras à transferência de calor e iluminação natural, dentre outros. Os recursos ativos (que consomem energia) devem ser empregados apenas quando forem imprescindíveis, a exemplo de ventilador de teto e resfriamento evaporativo indireto, dentre outros (SZOKOLAY, 1980).

A expressão “Projeto Bioclimático” não é recente, pois vem sendo discutida desde a década de 60. Os percussores são os irmãos Olgay, que estabeleceram que essa arquitetura busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima, com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto do homem. Para conseguir um resultado térmico desejável, esse projetar voltado a bioclimatologia implica na adoção de soluções arquitetônicas combinadas com técnicas e materiais disponíveis. Essas soluções terão que levar em consideração o conhecimento das exigências de conforto térmico humano, do comportamento térmico das estruturas e dos materiais, diante das variações dos fatores climáticos.

Segundo Olgay (1963), o processo construtivo de um edifício climaticamente equilibrado consiste em quatro etapas. A primeira é o estudo dos dados climáticos de uma região que envolve o conhecimento de seus elementos constituintes: temperatura, umidade relativa, radiação solar e efeito dos ventos. A segunda é a avaliação biológica que deve estar baseada nas sensações humanas, buscando as condições de conforto térmico em qualquer época do ano. A terceira é a avaliação das soluções tecnológicas que considerem a escolha do lugar, a orientação e forma do edifício. A quarta corresponde aos fatores de sombra, aos movimentos do ar e ao equilíbrio da temperatura interior. A expressão arquitetônica resultante deverá ser o produto dos diferentes elementos envolvidos.

Além dos recursos bioclimáticos, a arquitetura na permacultura também pode se beneficiar de outros recursos comuns à arquitetura sustentável e/ou “arquitetura verde” (EUROPEAN COMMISSION, 1999) ou mesmo “arquitetura ecológica”, que empregam:

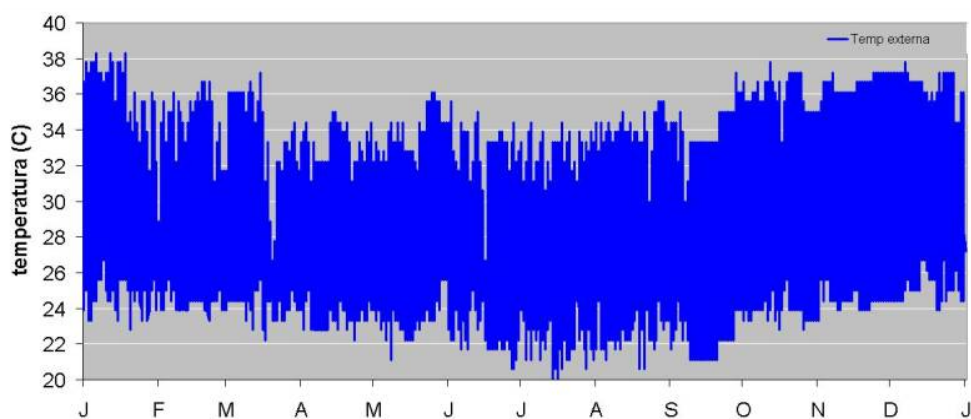
- sistemas construtivos com baixo conteúdo de energia: há preferência por uso de materiais que necessitam de pouca energia para serem produzidos, como tijolos de barro ao invés de tijolos de concreto;
- materiais não tóxicos;
- materiais com longa vida útil;
- materiais locais;
- materiais sustentáveis, como a de madeira de reflorestamento;
- paisagismo produtivo;
- uso racional da água.

### **3. PROJETO DA ECOVILA**

#### **3.1 Caracterização da Área**

A área em estudo é o sertão nordestino, especificamente a microrregião do Seridó Oriental do Rio Grande do Norte (IDEMA/RN, 2003). O projeto se destina à cidade de Acari, município ao sul do Estado do Rio Grande do Norte, limite com o Estado da Paraíba, distando de 201 Km da cidade do Natal. Esta região se caracteriza por seu clima quente e seco e por isso oferece maiores adversidades quanto ao conforto ambiental.

As características do clima semi-árido vão desde as grandes amplitudes de temperatura durante o dia (Figura 1), às grandes massas de ar quente, “conduzindo partículas de pó em suspensão nos seus deslocamentos no período seco” (ROMERO, 1988). Este clima, também denominado “quente-seco”, apresenta duas estações bem distintas: um período de seca e outro de chuva, radiação direta, intensa e baixo teor de umidade relativa do ar (ROMERO, 1988). A precipitação anual fica entre 250mm e 1.000mm, representado um déficit elevado durante todo o ano. A umidade relativa média anual é 64%. A temperatura média anual situa-se em torno de 27,5°C, com mínimas de 18°C e máximas de 33°C (IDEMA, 2004).



**Figura 1 - Gráfico da temperatura diária da cidade de Caicó, semi-árido Norte-riograndense.**

### 3.2 Programa

O projeto da ecovila tem como programa a preservação do habitat natural, a utilização de métodos construtivos que criem menos impacto no solo e na ecologia local, o emprego de materiais considerados ecológicos, a produção de alimentos e outros bio-recursos no local, e a utilização de fontes de energia renováveis. O projeto busca também evitar o impacto ambiental causado pelos resíduos, mediante sua redução, seu tratamento e seu processamento, além de dispor de uma implantação onde se tenha a mínima necessidade de transporte motorizado. Consta em seu *Programa de Necessidades*:

- Planejamento e zoneamento baseado nos preceitos permaculturais;
- Área edificada de uso coletivo e múltiplo;
- 16 casas projetadas a partir de uma planta base.

## 4. ANÁLISE BIOCLIMÁTICA

Constata-se que as residências da região do semi-árido são o principal refúgio das pessoas durante os períodos climáticos mais hostis. O clima quente e seco frequentemente apresenta temperaturas acima da faixa de conforto térmico durante o dia, e por isso se torna importante criar um microclima favorável à ocupação no ambiente construído. Devido às altas amplitudes diárias de temperatura, as construções com melhor desempenho térmico são as que apresentem uma grande inércia térmica.

### 4.1 Recomendações e diretrizes construtivas

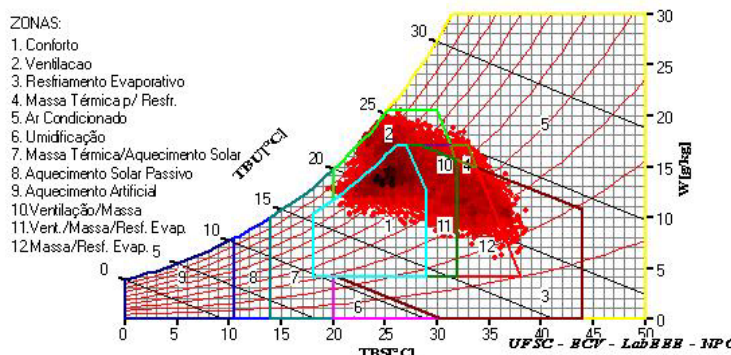
A análise do clima foi baseada em dados climáticos do Município de Caicó, do ano de 2003, obtidos através da estação solarimétrica do programa SWERA América Latina. A utilização dos dados da cidade de Caicó foi escolhida porque são os únicos dados disponíveis na mesma microrregião.

O método de determinação de recomendações bioclimáticas baseado no Método de Givoni (1992), adaptado para o software Analysis (LAMBERTS ET AL., 2003), aponta que o clima de Acari possui 18.6% de horas de conforto e 81.4% de horas de desconforto sendo todas essas horas de calor, não havendo horas de desconforto para o frio. As principais estratégias para atender o conforto são: resfriamento evaporativo em 68%, massa para resfriamento em 59.2%, ventilação em 35.9%, ar condicionado em 2.04% e sombreamento durante todo o ano (100 %) (Figura 2). Como não há necessidade de aquecimento da edificação, qualquer forma de transferência de calor de fora para dentro da edificação deve ser evitada. Isto é, as transmitâncias térmicas devem ser baixas, aberturas envidraçadas não são apropriadas, sendo necessário à utilização de materiais e diretrizes construtivas específicas para esse clima.

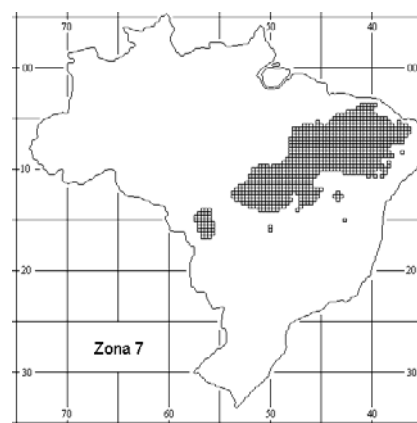
A comparação entre o clima diurno e noturno demonstra a drástica variação de temperatura. Além disso, as ocorrências diurnas indicam o desconforto devido à alta temperatura e baixa umidade. À noite, as horas confortáveis devido às baixas temperaturas e umidades mais elevadas são mais frequentes.

Outros métodos de determinação de estratégias como o CPZ “Control Potential Zone” (SZOKOLAY E DOCHERTY, 1999), representado no software Weather Tool (MARSH, 2001), apontam para as mesmas estratégias. A massa térmica é indicada para o período diurno que apresenta baixa umidade e alta temperatura. A utilização de ventilação natural é indicada para os períodos noturnos, que se caracterizam pela alta umidade e baixa temperatura. O resfriamento evaporativo também é indicado, principalmente durante o dia devido à alta temperatura e baixos índices de umidade. À noite, indica-se uma maximização do contato com o exterior: a ventilação noturna traz o conforto para o interior da edificação e resfria as estruturas e a massa interna.

As propostas também são compatíveis com as recomendações da norma “Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social” (ABNT, 2003), baseada no Método de Givoni. Nesse caso, a região em estudo correspondente a Zona Bioclimática 7 (Figura 3). As diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7 apontam para “aberturas para ventilação pequenas e sombreadas” entre  $10\% < A < 15\%$  da área do piso, e as vedações externas devem ser pesadas (ABNT, 2003).



**Figura 2 - Gráfico dos dados climáticos das 8.760 horas do ano de 2003 (avaliação no Analysis).**



**Figura 3 - Mapa da Zona Bioclimática 7 (ABNT, 2003).**

Estes conceitos bioclimáticos são utilizados neste projeto através da sistematização das diretrizes e soluções traçadas. Segundo Viggiano (2004), as diretrizes bioclimáticas são “proposições genéricas que norteiam as decisões de projeto e geram as soluções bioclimáticas que são recursos arquitetônicos criados para suprir as diretrizes”. Como metodologia de projeto, foi criada uma tabela com todas as diretrizes e soluções para o projeto bioclimático, bem como as soluções adotadas.

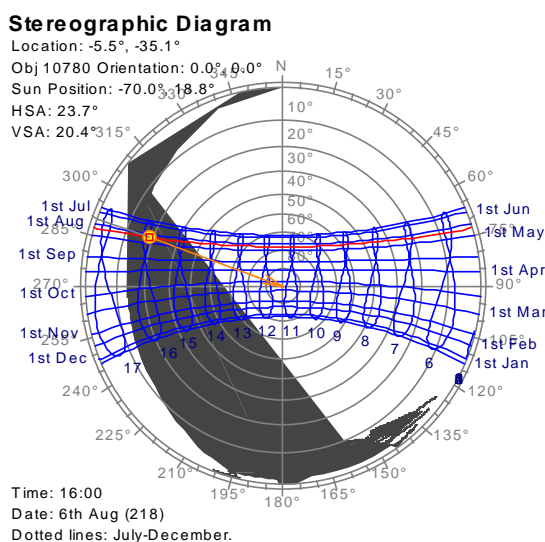
A formulação das diretrizes deve sempre levar em conta uma pesquisa extensiva sobre modelos da arquitetura vernácula e contemporânea que tenham soluções de projeto claramente identificadas com o conforto humano. A arquitetura vernacular de uma região pode ser considerada como um conhecimento empírico de diretrizes bioclimáticas. Ela se inspira em modelos anteriores e enfatiza as características culturais e sociais. A arquitetura vernacular do clima quente e seco tem as seguintes características:

- construções compactas, impermeáveis ao vento, paredes e telhados com alta inércia térmica, cobertura refletiva e plana, e alternativas para a umidificação dos ambientes;
- uso controlado de ventilação, apenas desejável quando a temperatura externa for menor que a interna (como ventilação noturna) combinado com o uso da inércia térmica (CORBELLA, 2003);
- aberturas pequenas principalmente para evitar a radiação solar e a entrada de ar quente;
- sombreamento sempre que possível, como através da forma da edificação e da topografia;

- maiores dimensões orientadas para o Norte-Sul, e as fachadas Leste-Oeste projetadas com recursos que as transformem em barreiras térmicas.

As diretrizes foram formuladas a partir da análise dos fatores e elementos climáticos e também de pesquisa em torno de modelos de edificações já construídas. A partir deste estudo foi elaborada uma tabela com as diretrizes e suas soluções (Tabela I), segundo Viggiano (2004). As soluções selecionadas para atender as diretrizes bioclimáticas foram escolhidas buscando principalmente a otimização da construção quanto ao custo e a disponibilidade do material na região, e a relação das diretrizes projetuais e o partido arquitetônico.

O sistema construtivo preferencial é a alvenaria de pedra e tijolo de adobe porque esses materiais proporcionam atraso térmico e são abundantes na região (o seridó é rico em pedreiras de granito). O tijolo de adobe pode ser facilmente produzido, pois existem também muitas olarias na região. Os fechamentos internos são em taipa leve, método construtivo de fácil execução que consiste na mistura de barro e capim para a construção de paredes. A fachada Oeste é semiterrada na maioria dos casos. Quanto à cobertura, adota-se a laje plana com jardim, alternativa que também pode proporcionar atraso térmico. Enfatiza-se o uso de cores claras para diminuir a absorção de radiação solar e o uso da laje plana para reduzir a área de absorção. O sombreamento é obtido por esquadrias com venezianas móveis de madeira e pérgolas, além da própria forma da edificação e vegetação. A topografia do terreno proporciona sombreamento das fachadas Oeste durante todo o ano entre 13:00h e 17:00h, devido à influência de um morro (Figura 4). O resfriamento evaporativo compreende o emprego de cântaros nas janelas e espelho d'água no jardim além disso, o terreno está localizado próximo a uma grande massa de água que é o Açude Gargalheiras.



**Figura 4 - Gráfico da máscaras de sombra para diversos pontos do terreno (simulado no Ecotect).**

## 4.2 Simulações do desempenho térmico da edificação

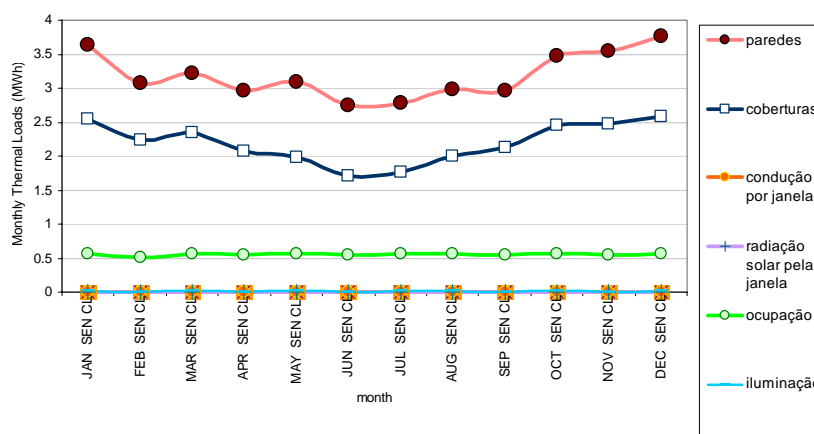
As análises de desempenho térmico da edificação se iniciam com um modelo simplificado baseado nos primeiros esboços. A intenção desta abordagem é comparar o impacto das estratégias entre as alternativas pré-selecionadas, antes de detalhar o projeto. As simulações foram executadas nos softwares VisualDoe (ELEY ASSOCIATES, 2000) e Ecotect (MARSH, 2001). O esboço foi simulado com características como ocupação de 5 pessoas durante 24 horas/dia, uso de iluminação artificial e de equipamentos eficientes, além de baixas taxas de infiltração de ar (janelas e portas fechadas).

A primeira simulação com uma envoltória convencional – alvenaria em tijolo de 8 furos, mostrou que as temperaturas internas poderiam ser muito mais quentes que as externas, atingindo até 20°C de diferença entre elas, o qual apresenta as temperaturas médias mensais horárias para cada mês. As temperaturas internas são frequentemente acima da temperatura externa e não se enquadram nas

temperaturas indicadas como zona de conforto. A análise das cargas térmicas mensais apontou que as principais fontes de calor são as paredes e a cobertura (Figura 5). A terceira maior componente é a geração de calor interna pelos ocupantes.

**Tabela I - Diretrizes e soluções para o projeto bioclimático.**

<b>DIRETRIZ</b>	<b>SOLUÇÃO</b>	<b>SELEÇÃO</b>
Seleção de sistemas construtivos	paredes externas em tijolo maciço / adobe	<input checked="" type="checkbox"/>
	paredes externas em pedra	<input checked="" type="checkbox"/>
	paredes externas em tijolo furado com revestimento térmico	<input type="checkbox"/>
	paredes internas em tijolo maciço	<input type="checkbox"/>
	paredes internas em taipa leve	<input checked="" type="checkbox"/>
	paredes pesadas: transmitância $u \leq 2,20 \text{ w/m}^2.\text{k}$ e atraso térmico $\geq 6,5$ horas	<input checked="" type="checkbox"/>
	cobertura de telha cerâmica com manta térmica	<input type="checkbox"/>
	cobertura com laje plana teto jardim	<input checked="" type="checkbox"/>
	cobertura pesada: transmitância $\leq 2,00 \text{ w/m}^2.\text{k}$ e atraso térmico $\geq 6,5$ horas	<input checked="" type="checkbox"/>
	inércia térmica do solo (ex: taludes)	<input checked="" type="checkbox"/>
Superfícies externas	superfície externa com cores claras: superfície exterior refletiva	<input checked="" type="checkbox"/>
	laje plana: superfície exterior refletiva	<input checked="" type="checkbox"/>
	geometria compacta	<input type="checkbox"/>
Sombreamento	poucas aberturas	<input checked="" type="checkbox"/>
	ambientes voltados para o interior	<input checked="" type="checkbox"/>
	uso de pátios internos	<input checked="" type="checkbox"/>
	janelas externas com venezianas	<input checked="" type="checkbox"/>
	janelas pequenas (10% a 15% da área do piso)	<input checked="" type="checkbox"/>
	varandas e pérgolas	<input checked="" type="checkbox"/>
utilizar áreas sombreadas pelo próprio terreno – topografia	<input checked="" type="checkbox"/>	
Resfriamento evaporativo	janelas com cântaros para umidificação do ambiente	<input checked="" type="checkbox"/>
	construção próxima a grandes massas de água	<input checked="" type="checkbox"/>
	sistemas autônomos de resfriamento evaporativo	<input checked="" type="checkbox"/>
	espelhos d'água	<input checked="" type="checkbox"/>
	fontes	<input type="checkbox"/>
Vegetação	beirais verdes	<input type="checkbox"/>
	jardins de “inverno”	<input checked="" type="checkbox"/>
	vegetação nos pátios internos	<input checked="" type="checkbox"/>
Captação de água da chuva	telhados ligados à cisterna de armazenamento de água	<input checked="" type="checkbox"/>
	água utilizada para resfriamento evaporativo	<input checked="" type="checkbox"/>



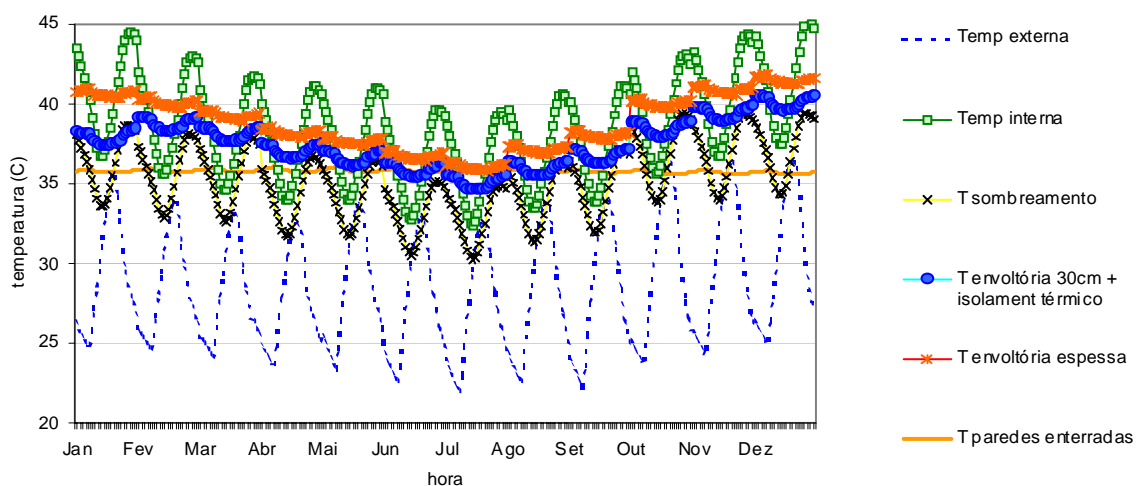
**Figura 5 - Cargas térmicas mensais mais influentes no desempenho (simulação no VisualDOE).**

As próximas simulações se concentraram na redução das cargas térmicas por esses componentes (

Figura 6). A primeira alternativa foi o sombreamento das faces externas, o qual reduziu as amplitudes, as máximas e mínimas (temperatura de sombreamento,

Figura 6), entretanto as temperaturas sempre ficaram entre 30°C e 40°C. As simulações com envoltória de 30 cm de espessura e com isolamento térmico, assim como uma envoltória espessa de 90cm, não produziram melhores resultados: apenas reduziram as variações de temperaturas, as quais ficaram frequentemente acima de 35°C. Mesmo com a envoltória enterrada, o calor dissipado interno não permitiu que temperatura baixasse dos 35°C (temperatura da envoltória enterrada,

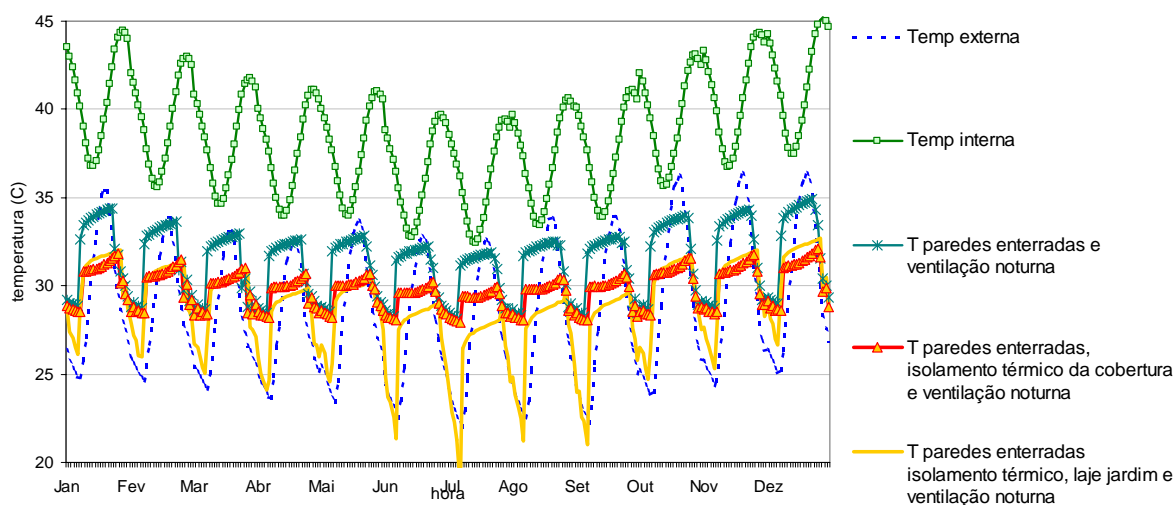
Figura 6). Nesse estágio, ficou claro a necessidade de impedir o calor de entrar durante o dia, assim como de retirar o calor gerado internamente. Por isso, foram simuladas diversas variações de envoltória combinadas com o uso de ventilação noturna. O modelo de ventilação noturna considerou que as aberturas da edificação são abertas durante a noite, entre 22:00 horas e 5:00 horas. Esse intervalo foi identificado como ótimo, através de várias simulações com diferentes intervalos. A taxa de renovação estimada foi de 20 renovações de volume de ar do ambiente a cada hora.



**Figura 6 - Alternativas de envoltórias (simulação no VisualDOE).**

Observa-se que o uso combinado de ventilação noturna e paredes enterradas são suficientes para trazer as temperaturas internas abaixo de 35°C (Figura 7). A adição de isolamento térmico na cobertura reduz ainda mais as temperaturas, porém a melhor opção é o uso de laje jardim na cobertura, a qual produziria uma temperatura máxima interna de 33°C e mínimas inferior à 20°C.

Os resultados das simulações também confirmam que as soluções pré-selecionadas são adequadas ao tipo de clima da região quanto ao conforto térmico, assim como indicam que as soluções usualmente utilizadas em construções convencionais populares podem apresentar um maior desconforto térmico.



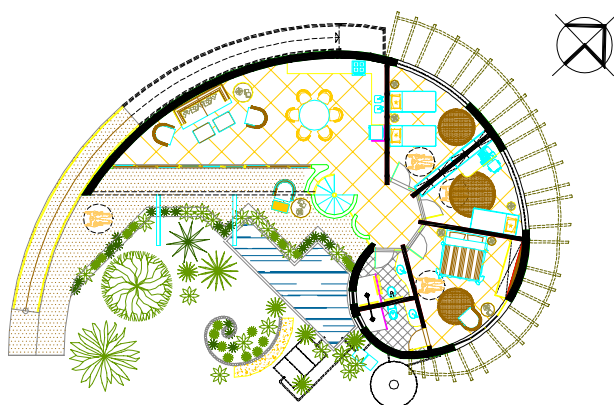
**Figura 7 - Gráfico das alternativas com ventilação noturna (simulação no VisualDOE).**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

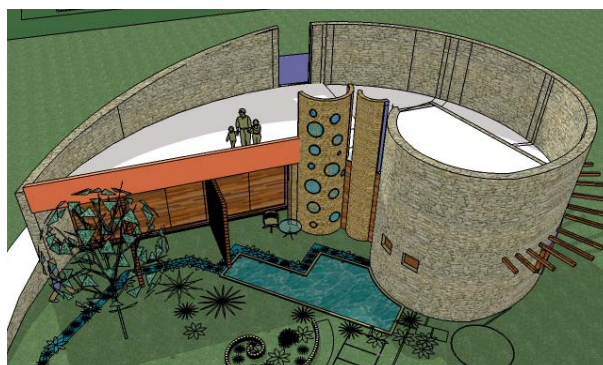
O processo confirma a teoria que as recomendações podem ser suficientes para obter a solução projetual, definida no ante-projeto ou no esboço, enquanto que as ferramentas atuais de simulação (representada pelo VisuaDOE) são indicadas para o refinamento dessa solução.

A pesquisa mais abrangente e o uso de ferramentas de simulação confirmaram a teoria que as estratégias bioclimáticas adotadas pelos sertanejos ao longo do tempo são adequadas e que não deveriam ser substituídas pelas tendências de mercado, que ignoram as características regionais e padronizam as construções.

A proposta final (Figura 8 e Figura 9) foi bem recebida pela banca de avaliação do trabalho de final de curso, que valorizou a pesquisa e a proposta.



**Figura 8 - Planta da Casa Base da Ecovila.**



**Figura 9 - Maquete da Casa Base da Ecovila.**

## 6. AGRADECIMENTOS

A arquiteta Viviane Teles, do escritório Estúdio Arquitetura.

À Eletrobrás.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Projeto 02:135.07-001/3. Rio de Janeiro: ABNT: 7 p. 2003.
- CORBELLA, Oscar. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - Conforto Ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- EUROPEAN COMMISSION. A green Vitruvius : principles and practice of sustainable architectural design. London: James & James. 1999. 145 p.
- Eley Associates. VisualDOE 3. San Francisco, CA USA 2000.
- GIVONI, B. Confort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings, v.18, n.1, p.11-23. 1992.
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Plano de Desenvolvimento sustentável do Rio Grande do Norte. Natal: IDEC/SEPLAN, 1997.
- LAMBERTS, R., SCHUCH, M., MATSUO, C. A., BUDAG, K. H., GOULART, S., DUTRA, L. e MENDES, N. Analysis Bio. Florianópolis, SC 2003.
- LIMA, M. A. The Development of bioclimatic design. St. Lucia, Qld., 1995. 379 p.
- MARSH, A. WEATOOL, The Weather Tool: Climatic Visualisation and Design Analysis. Perth, Australia 2001.
- OLGYAY, V. Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1963. 190p p.
- ROMERO, Marta. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. São Paulo: Projeto, 1988.
- SZOKOLAY, S. V. e DOCHERTY, M., Eds. Climate Analysis. Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques. Brisbane: PLEA in association with Department of Architecture, The University of Queensland, p.56, Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques. 1999.
- SZOKOLAY, S. V. Environmental science handbook for architects and builders. London: Construction Press. 1980. 532p p.
- VIGGIANO, Marcos. Projetando com Diretrizes Bioclimáticas. In: [www.casaautonoma.com.br](http://www.casaautonoma.com.br). Acesso em: 22.10.04.