

Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais. Caso: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP

Maíra do Lago Francisco

Orientadora: Prof. Assoc. Akemi Ino



Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e

Urbanismo

São Carlos
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Maíra do Lago Francisco

**Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e
implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais.
Caso: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP**

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do Título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Akemi Ino

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Francisco, Máira do Lago
F818r Recomendações de conforto térmico para projeto
arquitetônico e implantação de unidades habitacionais
em assentamentos rurais. Caso: assentamento rural Sepé
Tiaraju, Serra Azul-SP / Máira do Lago Francisco ;
orientadora Akemi Ino. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2009.

1. Assentamento rural. 2. Habitação de interesse
social. 3. Desempenho térmico. 4. Processo participativo.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista **MAÍRA DO LAGO FRANCISCO**.

Dissertação defendida e julgada em 26/11/2009 perante a Comissão Julgadora:

Profª. Associada **AKEMI INO (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Profª. Associada **ROSANA MARIA CARAM**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

A PROVA DA

Profª. Drª. **GLACIR TEREZINHA FRICKE**
(Pontifícia Universidade Católica/PUC/Campus de Minas Gerais)

A PROVA DA

Profª. Associada **AKEMI INO**
Vice - Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, em exercício

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

ESCALON
Serviço de Pós-Graduação
Protocolo nº 10.100.000/09
2009

Para os meus pais, Edson e Maria Inês, por todos os esforços que realizam para minha formação pessoal e profissional.

Para toda a minha família, avó, irmãos, primos, sobrinho e tios, e amigos que sempre se orgulharam de minhas conquistas.

Agradecimentos

A Akemi Ino pela orientação de minha dissertação de Mestrado e pela oportunidade de ingresso no grupo de pesquisa ao qual coordena, o HABIS – Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade, espaço de aprendizagem e de trocas de saberes, onde pude mudar meus conceitos sobre sustentabilidade em suas diferentes dimensões, conhecer os princípios da auto-gestão e da co-responsabilidade e, sobretudo, a trabalhar em equipe.

Ao Ioshiaqui Shimbo pelos ensinamentos em reuniões e pela apresentação de inúmeras ferramentas de sistematização e organização de objetivos a serem alcançados no plano pessoal e profissional.

A Glacir Fricke pelo incentivo à pesquisa desde a fase de graduação, me orientando a seguir pelos melhores caminhos e dando suporte para as minhas maiores conquistas.

Ao Fernando Atique pela dedicação, credibilidade e atenção dada a mim sempre acreditando na minha capacidade profissional.

A Rosana Caram pela importante contribuição dada à minha dissertação através do conteúdo de suas disciplinas.

Aos amigos que passaram ou estão atuando no Grupo HABIS pelo apoio, pelo companheirismo e pela amizade compartilhada tanto nas horas de dificuldades quanto nos momentos felizes.

A CAPES pelo provimento da bolsa que permitiu o desenvolvimento de minha pesquisa

RESUMO

FRANCISCO, M. do L. Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais. Caso: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

A concepção de projetos arquitetônicos e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais, que contemplam a participação das famílias beneficiárias nos processos decisórios, estão condicionadas a variáveis, tais como: a limitação de recursos governamentais para financiamentos, descapitalização das famílias, atendimento a um programa de necessidades específicas, além da busca pela melhoria da qualidade da moradia. Nesse contexto, a presente dissertação analisou o processo de elaboração de projeto e implantação das unidades habitacionais do assentamento rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP, tendo como hipótese de pesquisa a melhoria da qualidade destas moradias por meio de incorporação de recomendações projetuais a partir da aplicação de métodos simplificados de avaliação de desempenho térmico. No assentamento rural Sepé Tiaraju estão em construção 77 habitações, sendo 72 em alvenaria estrutural de bloco cerâmico, 1 em adobe estrutural, 1 em tijolo de solo-cimento estrutural e 3 em sistema estrutural de pilar e viga de eucalipto roliço e vedação com materiais alternativos. As famílias contam com financiamento do Programa INCRA/CEF e assessoria técnica do Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade - HABIS (EESC/USP e UFSCar). Como metodologia de pesquisa tem-se a verificação de enquadramento na ABNT NBR 15220-3, norma brasileira de desempenho térmico de edificações, e a aplicação do método de cálculos do C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique du Batiment* – de Paris) em dois casos – Casa em adobe (Caso 01) e Casa em bloco cerâmico estrutural (Caso 02). São apresentados como resultados: análise do desempenho térmico dos Casos 01 e 02 e de mais 06 alternativas de adaptações e/ou alterações de projeto e orientação de implantação que permitiu a simulação de diferentes situações termicamente favoráveis para os ambientes escolhidos. Os principais produtos elaborados foram dois quadros comparativos contendo em um o objetivo da aplicação de cada alternativa e suas implicações; e no outro os resultados de desempenho térmico avaliado por meio da aplicação de um Nomograma de Temperatura Efetiva. A pesquisa mostrou que a análise de desempenho térmico de edificações é uma variável muito importante a ser considerada quando se pensa na melhoria da qualidade de habitações rurais, principalmente em processos participativos de elaboração projetual, pois fornece subsídios que auxiliam no momento de criação das espacialidades internas, de escolha dos sistemas construtivos, bem como de orientação de implantação destas moradias, levando-se em conta sua relação com o meio.

Palavras-chave: Habitação de Interesse Social, Assentamento Rural, Desempenho Térmico, Processo Participativo.

ABSTRACT

FRANCISCO, M. do L. Recommendations for thermal comfort for architectural design and deployment of housing units in Rural Settlements. Case: Rural Settlement Sepé Tiaraju, Serra Azul, São Paulo, Brazil. 2009. 180 f. Dissertation (Master) – Post Graduate Program in Architecture and Urbanism, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

The architectural design and implementation of housing units in rural settlements, that include the participation of involved families in decision-making processes, are conditioned by some criteria or variables, such as: the limitation of governmental resources for financing low income families, the existence of a program with very specific needs, besides the search for improving the quality of housing. In this context, this thesis proposes an analysis of the process in designing and building of housing units in the Rural Settlement Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP. The research hypothesis is that the application of simplified methods for evaluating thermal performance could be incorporated in design recommendations to improve the quality of the houses. In the Rural Settlement Sepé Tiaraju 77 houses are being built: 72 masonry structural ceramic block, one in structural mudbrick (adobe – fire free brick), one in structural soil-cement and three in structural system of pillar and beam of stem eucalyptus and walls made of alternative materials. The families count with fundings from INCRA / CEF and have technical advice from the Research Group on Housing and Sustainability - HABIS (EESC / USP and UFSCar). As a research methodology, the ABNT NBR 15220-3, Brazilian standard of thermal performance of buildings was verified, and application of the method calculation of the C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique du Batiment* – from Paris) in two cases – House in mudbrick (Case 01) and House in structural ceramic block (Case 02). Results are presented as: analysis of thermal performance of Cases 01 and 02 and more than 06 alternative adaptations and/or changes in design and deployment guidance, allowing the simulation of different favorable heat situations to the environments chosen. The main products were two comparative tables containing in one the objective of implementing each alternative and in the other the results of thermal performance evaluated through the application of a Nomogram Effective Temperature. The research has shown that the analysis of thermal performance of buildings is a very important variable to consider when thinking about improving the quality of rural housing, especially in participatory processes of projectual development, as it provides grants that support the moment of creation of internal spatiality, of choice of building systems, of deployment guidance for housing, taking into account its relationship with environment.

Keywords: Social Housing, Rural Settlement, Thermal Performance, Participatory Process.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASHRAE** – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*
- C.S.T.B.** - *Centre Scientifique et Technique du Batiment*
- CAIXA** – Caixa Econômica Federal
- CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CEI** – Centro de Estatística e Informações
- CPTEC** - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- EESC** – Escola de Engenharia de São Carlos
- ENCAC** - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído
- HABIS** – Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade
- IBPSA** - Associação Internacional para a Simulação do Desempenho de Edificações
- INCRA** - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- IPT** - Instituto de Pesquisa Tecnológica
- ISO** – *International Organization for Standardization*
- ITESP** - Instituto de Terras do Estado de São Paulo
- LST** - Laboratório de Sistemas Térmicos
- MDA** - Ministério do Desenvolvimento Agrário
- MST** – Movimento do Sem Terra
- NBR** – Norma Brasileira
- NEAD** - Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural
- NORIE** – Núcleo Orientado à Inovação da Edificação
- NRVA** - Núcleo de Pesquisa em Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar
- NUPEDOR** - Núcleo de Pesquisa e Documentação Rural
- NUTAU** - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo
- PDS** - Projeto de Desenvolvimento Sustentável
- PMV** (*Predicted Mean Vote* – Voto Médio Estimado)
- PPD** (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – Percentagem de Pessoas Insatisfeitas)
- PSH** - Programa de Subsídio a Habitação de Interesse Social Rural
- PUCPR** - Pontifícia Universidade Católica do Paraná
- SAR** - *Stichten Architecten Research*
- SITERPA** - Laboratório de Sistemas Térmicos Passivos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UNIARA – Universidade de Araraquara

USP – Universidade de São Paulo

VLP – Viga Laminada Pregada

LISTA DE SÍMBOLOS

- R** - Resistência térmica de um componente - $(m^2.K)/W$
- R_t** - Resistência térmica de superfície a superfície de um componente - $(m^2.K)/W$
- R_{se}** - Resistência térmica superficial externa - $(m^2.K)/W$
- R_{si}** - Resistência térmica superficial interna - $(m^2.K)/W$
- R_{ar}** - Resistência térmica de câmara de ar não ventilada - $(m^2.K)/W$
- φ** - Atraso térmico de um componente - horas
- FS_o** - Fator solar de elementos opacos
- FS_t** - Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos
- e** - espessura de uma camada – m
- d** – densidade - kg/m^3
- λ** - condutividade térmica do material – $W/(m.K)$
- ρ** - Densidade de massa aparente do material – kg/m^3
- A'** - Amplitude de temperatura - °C
- A** – Área – m^2
- A_e** - Área de entrada do ar (mais baixa) – m^2
- A_s** - Área de saída do ar (mais alta) – m^2
- A_{tr}** - Área da superfície transparente – m^2
- E** – Elongação - °C
- H** - Altura média da área de abertura - m
- h_e** - Coeficiente de condutância térmica superficial externa – $W/(m^2.K)$
- h_i** – Coeficiente de condutância térmica superficial interna - $W/(m^2.K)$
- I_g** - Intensidade da radiação solar global - W/m^2
- I_D** – Intensidade da radiação solar direta - W/m^2
- I_d** – Intensidade da radiação solar difusa - W/m^2
- U** - Transmitância térmica de um componente - $W/(m^2.K)$
- N** - Freqüência horária da ventilação – 1/hora
- Q** - Carga Térmica (ganhos de calor) - W
- Q'** - Carga Térmica (perdas de calor) - W
- TBS** – Temperatura de Bulbo Seco - °C
- TBU** – Temperatura de Bulbo Úmido - °C
- T_d** - Média das temperaturas máximas diárias do mês - °C
- t_d** - Média das temperaturas mínimas diárias do mês - °C

t_e - temperatura média do ar externo - °C

TE - Temperatura Efetiva - °C

T_s - Média das temperaturas máximas anuais do mês - °C

t_s - Média das temperaturas mínimas anuais do mês - °C

UR – Umidade Relativa - %

V – Volume – m³

α - Absortância à radiação solar

c - calor específico – kJ (kg.K)

Δt - Diferença entre a temperatura do ar interno e externo - °C

Δt₁ - Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia - °C

Φ_c - Fluxo de ar por efeito chaminé – m³/s

Subscritos

op - Superfície opaca

tr - Superfície transparente

vent - ventilação

| SUMÁRIO | |
|--|------|
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | vi |
| LISTA DE SÍMBOLOS | viii |
| APRESENTAÇÃO | 1 |
| Contextualização do tema de pesquisa | 1 |
| Descrição dos capítulos | 1 |
| INTRODUÇÃO | 4 |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. Os objetivos geral e específicos, a hipótese, o método e as estratégias de pesquisa | 12 |
| 1.1 Objetivo geral da pesquisa | 12 |
| 1.2 Objetivos específicos da pesquisa | 12 |
| 1.3 Hipótese da Pesquisa | 13 |
| 1.4 Estratégias e método de pesquisa | 13 |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. Caracterização climática da área de estudo | 15 |
| 2.1 Caracterização das exigências humanas de conforto térmico | 15 |
| 2.2 Caracterização das condições climáticas da área de estudo | 16 |
| 2.3 Caracterização de aspectos físicos e do microclima local – Assentamento Rural Sepé Tiaraju | 21 |
| CAPÍTULO 3 | |
| 3. O Projeto Sepé Tiaraju | 25 |
| 3.1 Objetivos gerais do projeto Sepé Tiaraju | 25 |
| 3.2. Caracterização do objeto empírico: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP | 26 |
| 3.3 O projeto Sepé Tiaraju – parceria HABIS e famílias | 28 |
| 3.3.1 O projeto arquitetônico | 30 |
| 3.3.2 A escolha do material construtivo | 33 |
| 3.3.3 A definição das tipologias para aprovação junto à CAIXA | 37 |
| 3.3.4 A definição da implantação das unidades habitacionais | 40 |
| 3.4 Escolha das habitações representativas | 41 |
| 3.5 Identificação de potencialidades de variáveis adotadas para melhoria da qualidade das habitações | 45 |
| CAPÍTULO 4 | |
| 4. Verificação de enquadramento das unidades habitacionais selecionadas na NBR 15220-3 | 48 |
| 4.1 A norma brasileira de desempenho térmico de edificações | 48 |
| 4.2 Verificação de enquadramento das unidades habitacionais na NBR 15220-3 - Zona Bioclimática 4 | 51 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 5 | |
| 5. Estudo e aplicação do método do C.S.T.B nas tipologias habitacionais do Sepé Tiaraju | 55 |
| 5.1 Revisão bibliográfica sobre métodos de avaliação de desempenho térmico | 55 |
| 5.2 O método do C.S.T.B. | 59 |
| 5.3 Aplicação do método do C.S.T.B. para o período típico (dezembro – verão) | 65 |
| 5.3.1 Caso 01 – Casa de adobe | 67 |
| 5.3.2 Caso 02 – Casa de bloco cerâmico estrutural | 79 |
| 5.4 Análise e sistematização dos resultados da aplicação do método do C.S.T.B. para os Casos 01 e 02 | 89 |
| 5.5 Simulações de adaptações de projeto a fim de se obter situações termicamente mais favoráveis: Caso 2 | 94 |
| 5.5.1 ALTERNATIVA 01 - Usar a orientação de implantação do Caso 01 para o Caso 02. | 97 |
| 5.5.2 ALTERNATIVA 02 - Aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas de 1,18m x 1,15m para 1,38m x 1,15m. | 101 |
| 5.5.3 ALTERNATIVA 03 - Pintar as paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) de cores claras. | 105 |
| 5.5.4 ALTERNATIVA 04 - Aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas. | 110 |
| 5.5.5 ALTERNATIVA 05 - Aplicar uma manta de lã de vidro sob as telhas. | 116 |
| 5.5.6 ALTERNATIVA 06 - Trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento) | 122 |
| CAPÍTULO 6 | |
| 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS | 132 |
| 6.1 A verificação de enquadramento na ABNT NBR 15220-3 | 133 |
| 6.2 A aplicação do método do C.S.T.B. | 134 |
| 6.3 O Projeto Sepé Tiaraju | 140 |
| CAPÍTULO 7 | |
| 7. CONCLUSÃO | 143 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 145 |
| APÊNDICES | 153 |
| Apêndice A - Transmitância térmica da parede de bloco cerâmico estrutural da tipologia (29 x 19 x 14 cm) | 154 |
| Apêndice B - Transmitância térmica da parede de adobe (tijolo de terra crua) estrutural | 158 |
| Apêndice C - Transmitância térmica da parede de blocos cerâmicos estruturais (39 x 19 x 19 cm) | 159 |
| Apêndice D - Transmitância térmica das portas de madeira de uma e de duas folhas de abrir | 162 |
| Apêndice E - transmitância térmica da janela com duas folhas de abrir e vedação em vidro comum | 163 |
| Apêndice F - transmitância térmica da cobertura de telha cerâmica tipo | 165 |

| | |
|--|------------|
| romana, câmara de ar não ventilada e forro de pinus | |
| ANEXOS | 179 |
| Anexo A - Tabela de dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2). Latitude: 20° Sul. | 180 |
| Anexo B – Tabela para classificação do fator de inércia térmica de um ambiente. | 181 |

APRESENTAÇÃO

Contextualização do tema de pesquisa

O tema de pesquisa propôs a análise da contribuição de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico de edificações e/ou de componentes construtivos na formulação de recomendações a serem adotadas nas fases de concepção de projeto arquitetônico e de implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais. A pesquisa teve como objeto empírico as moradias do assentamento rural Sepé Tiaraju, localizado no município de Serra Azul-SP, e que contam com a assessoria técnica do Grupo HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade, EESC/USP) num processo participativo de construção em regime de mutirão.

Descrição dos capítulos

A presente pesquisa trata como tema central a habitação rural brasileira, tendo como objeto empírico as moradias que estão sendo construídas no assentamento rural Sepé Tiaraju, em Serra Azul-SP, sob coordenação do Grupo HABIS, grupo em que a autora desta pesquisa faz parte.

Na pesquisa foram analisados os critérios adotados nas fases de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação das habitações do Sepé Tiaraju, baseados num processo participativo de construção, com o intuito de investigar, através de dados desta realidade social, uma possível contribuição da aplicação de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico de edificações na melhoria da qualidade destas moradias.

Extraiu-se dos resultados das simulações de avaliação de desempenho térmico de edificações uma análise da incorporação de recomendações projetuais e de implantação, como estratégias para um melhor aproveitamento do condicionamento térmico passivo no processo construtivo de habitações rurais como um todo, ou seja, desde a fase de elaboração projetual e escolhas de sistemas construtivos até a fase de uso e manutenção.

Entende-se que as escolhas de técnicas e sistemas construtivos associados às configurações espaciais criadas para as moradias rurais, com a participação das

próprias famílias beneficiadas, devam considerar as reais condições em que estas moradias serão construídas, bem como as situações de uso que as mesmas deverão ter, sem se esquecer de considerar o aspecto do conforto térmico.

Na **Introdução** foram apresentadas as questões que norteiam o tema central abordado por esta pesquisa, traçando um panorama sobre a situação da demanda das habitações sociais, meio urbano e rural, e dos assentamentos rurais brasileiros; a importância do processo participativo na construção de habitações rurais procurando a melhoria de sua qualidade; a incorporação de técnicas construtivas mais sustentáveis; bem como o estímulo à co-gestão e a co-responsabilidade no processo como um todo para então enredar a importância da contribuição da avaliação de desempenho térmico de edificações na concepção de projeto arquitetônico e definição de implantação de habitações em assentamentos rurais.

No **primeiro Capítulo**, foram tratados dos objetivos gerais, dos objetivos específicos, do método, das estratégias adotadas e da hipótese da pesquisa de Mestrado.

No **Capítulo 2** foi apresentada a caracterização das exigências humanas de Conforto Térmico, as condições climáticas e do microclima local, a fim de estudar o contexto físico e climático em que as unidades habitacionais estão inseridas.

Já no **Capítulo 3** foi relatado descritivamente o projeto Sepé Tiaraju, iniciado em 2006 e em vigência até os dias de hoje, com as fases de elaboração de projeto arquitetônico, escolha de sistemas construtivos e definição de implantação das unidades habitacionais deste assentamento, procurando sistematizar e identificar as potencialidades dos critérios adotados para que se chegasse ao produto final, as tipologias aprovadas pela Caixa Econômica Federal. As tipologias resultantes desse processo contou com a participação das famílias beneficiárias e, atualmente, estão em fase de construção. Ainda no Capítulo 3 fez-se a seleção de duas tipologias habitacionais com material construtivo diferenciado para efeito comparativo de avaliação de desempenho térmico.

No **Capítulo 4** estudou-se a NBR 15220-3/2005, *Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse social*, com a verificação do enquadramento das tipologias habitacionais selecionadas para avaliação comparativa de desempenho térmico de acordo com as recomendações sugeridas

para a zona específica em que se localiza o município de Serra Azul, a Zona Bioclimática 04.

Visando a aplicação de um método simplificado, porém com uma proposta diferenciada, que considerasse a integração dos diferentes componentes construtivos que compõem um ambiente a ser analisado, foi apresentada no **Capítulo 5** uma revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação de desempenho térmico de edificações existentes no Brasil e no exterior com as justificativas pertinentes que motivaram a escolha do método usado por esta pesquisa, o do C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique du Batiment* – de Paris). Aplicou-se o método de cálculos do C.S.T.B. para avaliação comparativa de desempenho térmico dos ambientes das tipologias selecionadas no Capítulo 4, considerando o período típico de verão. O Capítulo 5 foi encerrado com a análise dos resultados de aplicação do método escolhido com a incorporação de 06 diferentes alternativas de adaptações de projeto a fim de alcançar situações termicamente mais favoráveis.

No **Capítulo 6** foram analisados os resultados alcançados com a aplicação do método do C.S.T.B. e com a verificação de enquadramento da NBR 15220-3/2005 dos ambientes escolhidos das tipologias habitacionais do assentamento rural Sepé Tiaraju submetidos a uma avaliação de desempenho térmico.

Conclui-se esta pesquisa de Mestrado com o **Capítulo 7**, através da elaboração de uma síntese conclusiva por meio da análise da contribuição do uso de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico à formulação de recomendações que condicionam as fases de concepção de projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais.

INTRODUÇÃO

Na presente pesquisa foi analisada a contribuição de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico de edificações e/ou de componentes construtivos para a incorporação de recomendações nas fases de elaboração de projeto arquitetônico e de definição de orientação de implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais, tendo como objeto empírico as moradias do assentamento rural Sepé Tiaraju, localizado no município de Serra Azul-SP. As famílias do Sepé Tiaraju contam com a assessoria técnica do Grupo HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade, EESC/USP) num processo participativo de construção em regime de mutirão.

Para introduzir o tema abordado por esta pesquisa torna-se necessário apresentar as questões bases que o norteiam, são elas: a situação das habitações sociais e dos assentamentos rurais brasileiros, a importância do processo participativo com o envolvimento de diferentes atores, o sistema de trabalho em mutirão, o processo de elaboração de projeto arquitetônico em sistema de co-gestão, a contribuição da avaliação de desempenho térmico de edificações, entre outros temas necessários ao bom entendimento da problemática aqui trabalhada.

Primeiramente, procurou-se traçar um panorama da situação do déficit habitacional no meio urbano e rural, em âmbito nacional e estadual, para recortar o objeto específico de estudo desta pesquisa.

O déficit habitacional brasileiro foi estimado em 7,903 milhões de novas moradias em 2005, com incidência notadamente urbana, correspondendo a 81,2% do montante brasileiro (6,414 milhões). A região Sudeste lidera a demanda nacional, com necessidades estimadas em 2,899 milhões de unidades, vindo a seguir a Nordeste, com 2,743 milhões de unidades. As duas regiões representam 71,4% do déficit habitacional brasileiro. A distribuição do déficit no território brasileiro aponta, desde 2004, a concentração em números absolutos da maior parcela das carências habitacionais na região Sudeste. Até essa data, a posição era ocupada pela região Nordeste. São 2,9 milhões na Sudeste, em 2005, representando 36,7% do total do déficit brasileiro, enquanto na Nordeste 2,7 milhões correspondem a 34,7%. Em

2000, ao contrário, na Nordeste estavam 39,5% das carências do setor, 2,7 milhões, contra 32,4% da região Sudeste, 1,9 milhão.¹

São grandes as diferenças quando se analisa a composição do déficit por situação do domicílio, nas áreas rurais as habitações precárias assumem posição de destaque, enquanto nas áreas urbanas, além da coabitação familiar, o ônus excessivo com aluguel tem também presença significativa. Segundo definição da Fundação João Pinheiro, responsável pela medição de índices de habitação no Brasil, o déficit habitacional é entendido por falta de moradias para toda a população, devido à precariedade das construções ou ao desgaste da estrutura física. Ocupar um local sem as mínimas condições de habitabilidade já confere situação de déficit. A inadequação das moradias é caracterizada por carência de infra-estrutura, adensamento, depreciação ou inexistência de unidade sanitária interna.²

As habitações rurais brasileiras, na sua maioria, se encontram em precárias condições quanto à qualidade e são insuficientes, em quantidade. Segundo o Informativo CEI de abril de 2007 da Fundação João Pinheiro do Governo de Minas Gerais, no meio rural foi estimado um déficit de 174 mil novas moradias para a região sudeste, sendo que deste total 65 mil concentram-se no Estado de São Paulo³.

No Brasil existem atualmente em torno de 400.000 famílias assentadas distribuídas em 1.500 núcleos. No Estado de São Paulo são, ao todo, 167 assentamentos distribuídos, divididos em dezesseis coordenações regionais, abrangendo um universo de 10.049 famílias⁴. Contudo, se esse fenômeno implica benefícios, como uma menor pressão por habitação nas cidades, também requer políticas públicas adequadas à fixação do homem no campo, desde mínimas condições para a produção agrícola como para a moradia e saneamento ambiental.

Diante deste cenário, torna-se importante fazer um recorte do objeto principal de estudo desta pesquisa, a habitação rural brasileira, uma vez que se procura neste trabalho a busca pela melhoria de sua qualidade.

¹ Fonte: <<http://comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=25&id=281&tipo=0>>, acessado em julho de 2008.

² idem

³ Fonte: <http://www.fjp.mg.gov.br/produtos/cei/infocei_deficitbr2005.pdf>, acessado em janeiro de 2008.

⁴ Informações do ITESP – disponível em: <<http://www.itesp.sp.gov.br/>>. Acesso em 20/03/2006.

Entretanto, os estudos sobre moradias rurais são escassos e grande parte dos trabalhos científicos voltados para a compreensão e análise de assentamentos rurais está voltada ao entendimento do funcionamento dessas novas unidades produtivas, às formas de organização social e política dos núcleos, aos resultados das políticas fundiárias, à exigüidade econômica de empreendimentos com essa natureza, etc. (Leite, 2000).

Diante de tal cenário, torna-se importante destacar aqui os simpósios que vêm acontecendo em Araraquara sobre reforma agrária e assentamentos rurais onde se procuram discutir os desafios e dilemas dos assentamentos, compreendendo seus atores, conflitos, territórios e as redes de cooperação formadas. Os eventos são realizados pelo Núcleo de Pesquisa e Documentação Rural (Nupedor) e pelo Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente do Centro Universitário de Araraquara (Uniara), o simpósio tem apoio do Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural (NEAD) do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (SR Incra/ SP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e do Instituto de Terras do Estado de São Paulo (Itesp).

O contexto em que a habitação de interesse social está inserida é caracterizado por políticas públicas que não consideram de maneira adequada os aspectos socioeconômicos das famílias beneficiárias, assim como a relevância da implementação de aspectos mais sustentáveis no ambiente construído, aspectos esses que num processo de organização coletiva podem minimizar a situação precária, as quais as famílias assentadas enfrentam. Observa-se aqui um potencial para a diminuição do custo desta habitação com a utilização de tecnologias mais sustentáveis. Estudos realizados sobre projetos habitacionais de interesse social construídos com elementos construtivos e técnicas mais sustentáveis indicam a viabilidade econômica e técnica na sua implementação e a redução dos custos através da produção dos elementos construtivos e construção da habitação em um processo coletivo, com geração de trabalho e renda.

Entre muitos aspectos técnicos de desempenho de uma habitação, o térmico também é um fator importante a ser considerado, notadamente naquelas destinadas a pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada considerando o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. O simples fato de se explorar o uso de técnicas passivas de condicionamento térmico, já oferece uma

situação termicamente mais agradável ao usuário, uma vez que o clima no Brasil não apresenta situações extremas de invernos e verões rigorosos como os existentes no continente europeu, por exemplo. Portanto, a incorporação de elementos arquitetônicos na concepção de projeto, considerando a influência do clima no desempenho térmico das edificações, pode garantir condições naturais de conforto térmico e diminuição de uso de condicionamento térmico artificial, com uma conseqüente economia de energia.

“Em se tratando de Habitações de Interesse Social, espera-se, por caracterizarem formas de intervenção planejadas, implantadas por técnicos habilitados, desempenho elevado em relação ao Conforto Térmico, no mínimo comparável ao de construções da arquitetura regional. O que possivelmente deveria resultar numa diversidade de tipologias construtivas frente a diversidade climática nacional”. (FERNANDES, L. C. & KRÜGER, E. L.; 2000/2001) Entretanto, “ao avaliar a qualidade dos projetos executados pelos programas habitacionais existentes para a população de baixa renda, é fato reconhecido pelos profissionais que se preocupam com a habitação social que, em geral, a moradia popular no Brasil apresenta sérios problemas de falta de conforto térmico. (LABAKI & KOWALTOVSKI, 1995) (...) No Brasil, os programas de habitação popular vêm sendo implementados em território nacional sem haver uma preocupação com especificidades regionais. Assim uma mesma tipologia é adotada em cidades com características muito distintas, sendo desconsideradas as diversidades socioeconômica, cultural, climática e tecnológica entre as diferentes regiões do Brasil, o que resulta em construções de baixa qualidade construtiva que não atendem às necessidades de seus usuários” (MICHALOSKI apud DUMKE, 2002, p. 15).

O esforço para apresentar soluções eficientes frente ao déficit habitacional⁵ existente no país mostra a necessidade em se redefinir uma política habitacional para a população de baixa renda. De fato, em diversas publicações e congressos nesta área, a avaliação de programas de habitação de baixo custo, além das considerações técnicas e construtivas, vem incluindo também aspectos como a melhoria dos padrões de qualidade (QUALHARINI, 1993), fatores sociais e culturais de se construir para os pobres (SANTOS, 1995; KRÜGER, 1998) e aqueles

⁵ As estimativas do déficit habitacional no Brasil são bastante diferentes e variam, conforme a metodologia empregada, de 5 a 13 milhões de moradias.

relacionados à melhoria das condições de conforto térmico no ambiente construído (MASCARÓ & MASCARÓ, 1992; BARBOSA, 1997), (KRUGER, E. L. & LAMBERTS, R.; 2000).

De um modo geral as habitações de interesse social apresentam sérios problemas de habitabilidade, em especial quanto às condições de conforto ambiental (KUCHENBECKER et al., 1999). É necessário ressaltar ainda que a perspectiva de aquisição de imóvel residencial para uma grande parcela da população brasileira é, quase sempre, uma oportunidade única ao longo da vida. Assim, faz-se imprescindível a necessidade de soluções técnicas de qualidade, que permitam operação e manutenção compatíveis com o usuário e conseqüentemente a otimização da vida útil do patrimônio adquirido. Além disso, deve-se salientar que o imóvel residencial deva oferecer um ambiente satisfatório, em que se possa descansar para um novo dia de trabalho, requerendo um enfoque diferenciado frente à oferta e ao acesso à moradia.

Buscando alternativas para enfrentar o problema, o Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade (HABIS), da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, vem atuando como assessoria técnica e com interesse de pesquisa na construção de habitações rurais com técnicas construtivas inovadoras, privilegiando o uso de recursos naturais locais e renováveis e estimulando a participação destas famílias em todas as instâncias de decisão. Para o HABIS o envolvimento das famílias no processo como um todo permite com que haja um aumento de chances de acerto nas decisões, de sucesso nos resultados, possibilitando o compartilhamento e a co-responsabilidade.

No entanto,

[...] quando arquiteto e morador se encontram para discutir um projeto de habitação, surge uma dimensão de liberdade e de escolha quando se coloca a possibilidade de se pensar e imaginar a casa que se quer e se sonha, baseada numa construção cultural, histórica, ideológica e antropológica que devem ser levadas em consideração. Por outro lado, vem a dimensão da necessidade e da urgência, quando se trata de população de baixa renda e de habitação social, traduzidas nas idéias da casa como abrigo e da habitação mínima com sua respectiva solução técnica. E é nesse espaço de diálogos e interlocuções entre indivíduos e grupos, carregados de experiências que ora os diferenciam, ora os agrupam, que se efetivam as

dimensões participativas, baseadas no falar e ouvir o outro a fim de se conceber e construir algo coletivamente. (SHIMBO, L.Z., 2004)

O debate nas literaturas internacionais sobre a participação de usuários em projetos de arquitetura nos remete à década de 40, com a experiência de Hassan Fathy com o projeto de Nova Gurna e se intensifica a partir dos anos 60 com a tentativa de se sistematizar e organizar a interlocução entre arquitetos e usuários em métodos de elaboração de projetos. Fathy “queria superar o abismo que separa a arquitetura popular daquela feita pelo arquiteto” (FATHY, 1980, p.61).

Uma importante referência na literatura estrangeira é a metodologia de projeto de estruturas habitacionais *Stichten Architecten Research* (SAR), fundada em 1965, desenvolvida por Habraken e outros (SAR, 1973), que procura estudar as ferramentas que possibilitam um processo de tomadas de decisão do projeto arquitetônico com maior participação e controle do morador. Parte-se da noção de que uma aproximação metodológica no processo de tomada de decisão é pré-condição para que se realize a participação do usuário.

Nesta mesma linha, o conceito de desenho participativo (*participatory design*), desenvolvido por Sanoff (1990), refere-se a uma intenção metodológica que parte da suposição de que a tomada de decisões no *design*⁶ “deve ser um esforço coletivo, baseada no conceito democrático no qual as pessoas afetadas pelas decisões do *design* devem ser envolvidas no processo de tomada de decisões” (SANOFF, 1990, p. 1).

No Brasil, este debate ganha força na década de 80 sem, contudo, haver uma ligação direta entre o que se estava fazendo aqui e o que havia sido discutido internacionalmente. As experiências estrangeiras serviam mais como referências e menos como modelos a serem discutidos pelos arquitetos brasileiros. Esses, por sua vez, envolviam-se em experiências participativas e, por tentativas, acertos e erros, iam constituindo métodos próprios de discussão de projeto.

Atualmente, o termo participação tem sido difundido por diversos atores sociais, o que propicia um aumento da possibilidade de inclusão da população de baixa renda em decisões sociais e políticas. Segundo Silva (2000) e Acselrad (1999), a dimensão social e a política ressaltam a participação na tomada de decisão da sociedade, em mecanismos que possibilitem uma democratização dos

⁶ O termo em inglês *design* foi empregado com o sentido de significar todo o processo de projeto, não só o arquitetônico mas também o urbanístico, de objetos, etc.

processos, respeitando as diferenças individuais, modificando as práticas e políticas atuais de exclusão e discriminação.

Bandeira (1999) aborda em seu trabalho 5 linhas de argumentação para destacar a importância da participação: necessidade de consulta aos segmentos da comunidade diretamente afetados pelas decisões; sociedade civil atuante na vida pública para a boa governança e para o desenvolvimento participativo; participação vinculada à acumulação de capital, melhorando o empreendimento de ações coletivas; implementação de políticas públicas por meio de mecanismos participativos, proporcionando o fortalecimento do país ou de uma região e importância da participação para consolidação das identidades regionais.

Desta maneira, pode-se ressaltar a importância da participação da comunidade em programas político-sociais a fim de garantir maior estabilidade aos projetos de construções habitacionais destinados à população de baixa renda no meio rural, justificando-se pelas inconstâncias econômicas e políticas praticadas em nosso país. Ainda torna-se necessário um

[...] planejamento participativo, esclarecido e dinâmico, onde a comunidade estabeleça suas metas e defina as etapas de envolvimento dos diversos setores produtivos e da população local. O ponto central deve ser o desenvolvimento dos capitais humanos e sociais disponíveis, visto não como beneficiários de políticas sociais compensatórias, mas atores sociais, cidadãos participantes do processo de renovação e construção de uma nova sociedade (PERES et al., 2001 p.217).

Contudo que fora debatido até então, numa perspectiva geral, as pesquisas desenvolvidas pelo Grupo HABIS vêm avaliando, na prática, o processo de maior participação das famílias assentadas na construção de suas casas em regime de mutirão, o que pode aumentar as possibilidades de experimentação de componentes e de processos de produção que considerem as potencialidades regionais. E apesar de haver grande complexidade da produção da habitação por ser em regime de mutirão, em especial se entre os objetivos estiver o estímulo à autogestão, à formação e capacitação dos moradores para geração de trabalho e renda, a expectativa é de que os resultados dos projetos de construção de casas em assentamentos rurais com assessoria técnica do HABIS, que prioriza o processo participativo e a articulação entre diferentes atores envolvidos no processo, possam

servir como referências para elaboração de diretrizes de políticas públicas para habitação rural.

E é neste âmbito da pesquisa que na presente dissertação analisaram-se as variáveis resultantes do processo participativo das fases de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação das unidades habitacionais do assentamento Sepé Tiaraju, em Serra Azul/SP, que se encontra na etapa de construção das casas em regime de mutirão, tendo como hipótese uma possível contribuição da aplicação de ferramentas de avaliações de desempenho térmico para a melhoria da qualidade da habitação aliada a uma maior satisfação de seus usuários.

CAPÍTULO 1

1. OS OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS, A HIPÓTESE, O MÉTODO E AS ESTRATÉGIAS DE PESQUISA

O Capítulo 1 apresenta os objetivos gerais e específicos que norteiam o desenvolvimento da pesquisa. Trata da hipótese levantada a partir dos objetivos a que se pretende atingir, bem como do método e das estratégias usadas para a obtenção dos resultados e conclusão do trabalho.

1.1 Objetivo geral da pesquisa

É objetivo geral da pesquisa, analisar a contribuição da aplicação de métodos simplificados de avaliação de desempenho térmico de edificações na incorporação de recomendações em projetos arquitetônicos e definição de implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais, tendo como objeto empírico as habitações do assentamento rural Sepé Tiaraju, em Serra Azul-SP.

1.2 Objetivos específicos da pesquisa

- Elaborar um diagnóstico climático local por meio do software ARQUITROP 3.0, de referências bibliográficas, bem como levar em consideração a percepção dos moradores que ficaram acampados cerca de 4 anos e meio no local até que fossem assentados;
- Caracterizar os aspectos físicos e do microclima do entorno das unidades habitacionais escolhidas para serem submetidas à avaliação de desempenho térmico;
- Analisar o processo de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação das habitações do assentamento rural Sepé Tiaraju identificando as potencialidades das variáveis adotadas para busca de melhor qualidade e satisfação das famílias envolvidas;
- Descrever e justificar a escolha de duas tipologias habitacionais do Sepé Tiaraju para avaliação comparativa de desempenho térmico;

- Verificar o enquadramento das tipologias habitacionais selecionadas na norma brasileira ABNT NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse social, que apresenta um método simplificado de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos;
- Realizar uma revisão bibliográfica dos métodos simplificados de avaliação de desempenho térmico de edificações existentes no Brasil e exterior;
- Aplicar um método simplificado de avaliação de desempenho térmico nas unidades habitacionais selecionadas implantadas no assentamento Sepé Tiaraju;
- Propor alternativas de adaptação de projeto arquitetônico e definição de implantação para os resultados que forem insatisfatórios;
- Analisar a viabilidade de se incorporar os resultados alcançados pela aplicação dos métodos de avaliação de desempenho térmico em projetos participativos de moradias rurais.

1.3 Hipótese da Pesquisa

A aplicação de ferramentas de avaliação de desempenho térmico de edificações permite aumentar a qualidade da habitação em assentamentos rurais, principalmente quando utilizadas no início da discussão do projeto arquitetônico, considerando os aspectos da implantação e contando com a participação das famílias beneficiárias em todas as instâncias decisórias do processo.

1.4 Estratégias e método de pesquisa

No contexto da habitação rural, a presente pesquisa se referencia em uma experiência específica: a construção de 77 casas no Assentamento Rural Sepé Tiaraju, em Serra Azul, São Paulo, que baseado no processo participativo utiliza como método de pesquisa, a pesquisa-ação que, segundo Thiollent (1986) é definida como:

[...] um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução

de um problema coletivo no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Dionne (2007, p. 68) afirma ainda que a pesquisa-ação é

[...] uma modalidade de intervenção coletiva, inspirada nas técnicas de tomada de decisão, que associa atores e pesquisadores em procedimentos conjuntos de ação com vista a melhorar uma situação precisa, avaliada com base em conhecimentos sistemáticos de seu estado inicial e apreciada com base em uma formulação compartilhada de objetivos de mudança.

Segundo Thiollent (1986), em pesquisas consideradas convencionais, não existe o processo participativo da comunidade ou grupos organizados nas situações observadas, distanciando o produto final da pesquisa de futuras ações. O usuário neste caso passa a ser mero informante da pesquisa e mero ator da ação, não relacionando a situação atual com a situação desejada.

Contudo, as estratégias específicas de pesquisa adotadas foram:

- Análise da sistematização dos registros escritos feitos em relatos de reuniões com as famílias assentadas;
- Análise da transcrição de vídeos das fases de elaboração do projeto arquitetônico e definição da implantação das habitações do assentamento rural Sepé Tiaraju (ano de 2006);
- Levantamento de dados com os profissionais e/ou pesquisadores do Grupo HABIS (EESC/USP) atuantes nestas fases e em atividade atualmente;
- Resgate dos desenhos criados ao longo do processo de elaboração do projeto arquitetônico até o modelo final de tipologias contratadas pela CAIXA;
- Organização das informações levantadas, cronologicamente, identificando os momentos mais significativos de mudanças, em forma de texto com imagens e desenhos ilustrativos;
- Observações e coleta de dados através de conversas informais feitas em viagens com o grupo HABIS para assessoria técnica do projeto Sepé Tiaraju;
- Aprendizagem em reuniões do grupo HABIS para discussão e troca de saberes referentes às atuações da equipe em canteiro;
- Consulta às referências bibliográficas existentes sobre o tema abordado;

CAPÍTULO 2

2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

O Capítulo 2 trata da caracterização climática da área de estudo, considerando os aspectos das exigências humanas de conforto térmico, do diagnóstico climático da região, bem como descreve as características físicas e do microclima do local de implantação das unidades habitacionais selecionadas para avaliação de desempenho térmico.

2.1 Caracterização das exigências humanas de conforto térmico

O conforto térmico é um aspecto importante a ser considerado nas edificações, pois a edificação afeta sempre o microclima e o conforto ambiental dos que a habitam. A estreita associação da arquitetura, clima e vegetação influem no ambiente e são indicativos de conforto térmico.

Em relação ao corpo humano, pode-se afirmar que, “quando as trocas de calor com o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho (...) é máxima. Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais ou menos calor que o necessário...” (FERNANDES & KRÜGER apud FROTA & SHIFFER, 2000/2001, p.1).

De acordo com as definições sobre conforto térmico abordadas por Maragno (2002, p.6), “a ASHARAE⁷ define conforto térmico como *um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa* (apud GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1994).

Xavier (1999) especifica que o conforto térmico pode ser estudado sob dois pontos de vista fundamentais: o pessoal e o ambiental sendo que, em relação ao pessoal, Fanger (1972) o define como “[...] sendo uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Esta sua definição pode ser encontrada tanto em textos sobre o assunto, quanto como em referência em muitas normas técnicas em todo o mundo, inclusive as da ASHARAE. Alguns autores como Rohles (1966 apud Xavier, 1999), advertem que é necessário analisar

⁷ Americal Society of Heating, Refrigerating and air-Conditioning Engineers.

conjuntamente a temperatura do corpo e as sensações relatadas pelas pessoas, ou seja, a condição do corpo e a condição da mente. Sob o ponto de vista ambiental, o conforto é definido como “[...] o estado térmico para determinado ambiente, com relação às suas variáveis físicas, quando um menor número de pessoas esteja insatisfeito com o mesmo” (MARAGNO, 2002 apud FANGER, 1972).

Na avaliação de um ambiente quanto ao seu desempenho térmico, a aprovação de seus usuários nas fases de uso e ocupação da edificação é muito importante. Sendo assim, o estudo do diagnóstico climático do local, bem como a adequação projetual às recomendações para projeto de acordo com especificidades climáticas da área de implantação ajudam o profissional, arquitetos e/ou engenheiros, a não incorrerem em erros abruptos, tornando os espaços projetados com grande probabilidade de serem considerados termicamente confortáveis por seus usuários.

2.2 Caracterização das condições climáticas da área de estudo

O assentamento rural Sepé Tiaraju, cujas unidades habitacionais submetidas à análise por este estudo estão implantadas, possui uma área de 797,75 ha e está localizado entre os municípios de Serra Azul e Serrana, Estado de São Paulo, entre as coordenadas $-21^{\circ}13'06,33''$ e $-21^{\circ}15'51,95''$ para latitude e, $47^{\circ}30'09,47''$ e $47^{\circ}34'22,66''$ para longitude.

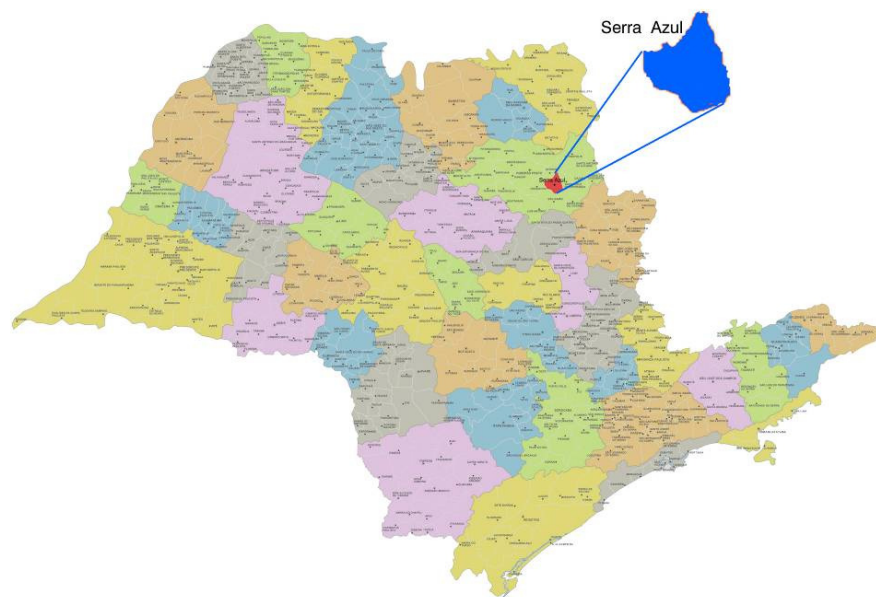


Figura 1: Mapa com a localização do município de Serra Azul no Estado de São Paulo. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

Para a realização do estudo climático da área de implantação do assentamento foi usado o *software* de estudos climatológicos ARQUITROP 3.0, desenvolvido por Roriz e Basso (1990), pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Entretanto, como o ARQUITROP não possui em seus bancos de municípios, dados climáticos referentes a Serra Azul – SP ou Serrana – SP, foram adotados os dados do município de Ribeirão Preto, cujas coordenadas geográficas (Latitude: 21°10' e Longitude: 47°48') mais se aproximaram da área em estudo.

Nesta ferramenta de consulta, inexistiram dados sobre a direção e a velocidade dos ventos predominantes para a cidade de Ribeirão Preto. Contudo, para se estabelecer diretrizes projetuais que visem à otimização da ventilação natural, é necessário dados de médias mensais e anuais que permitam o conhecimento das direções e velocidades dos ventos predominantes. Para isso, utilizou-se como base referencial os levantamentos da sede da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, São Paulo, situada na região tropical ou intertropical do hemisfério sul, entre as latitudes 21° 55' e 22° 00' Sul e longitudes 47° 48' e 47° 52' Oeste, e entre as cotas altimétricas 690 e 911m acima do nível do mar.

Para esta área, os ventos predominantes sopram de nordeste (30,2%, em fevereiro e março), sudeste (19,4%, de setembro a novembro e abril), leste (14,8%, de maio a julho) e norte (12,3%, em janeiro), com médias de velocidades, respectivamente de 3,5, 4,0, 3,1 e 3,1 m/s. Os ventos menos freqüentes sopram de noroeste (8,2%), oeste (5,9%), sul (4,7%) e sudoeste (5,9%), com médias de velocidades de 3,3, 3,0, 3,3 e 2,9 m/s, respectivamente (Tolentino, 1967).

Entretanto, apesar de dados tão precisos, a área é de grande abrangência e o local estudado possui especificidades próprias que faz com que sejam descartadas parte destas informações. Pela sabedoria popular, por informações colhidas com os próprios moradores do local, acampados no terreno por quase 5 anos antes de serem assentados formalmente, os ventos predominantemente incômodos nos períodos mais frios vêm do quadrante Sul (Sul, Sudeste e Sudoeste), ventos estes que já provocaram até mesmo destelhamento de barracos. E nos períodos mais quentes, os ventos predominantes são provenientes das direções Norte e Nordeste, confirmando os valores que foram apresentados no parágrafo anterior.

Tomando por base estes dados, foi possível priorizar as aberturas em faces opostas nas direções dos ventos predominantes dos meses mais quentes (direção

norte em janeiro e direção nordeste em fevereiro e março), permitindo, desta forma, a ventilação natural cruzada nos ambientes. Para potencializar a ventilação cruzada nos ambientes das tipologias habitacionais projetadas para este assentamento, priorizaram-se aberturas em todas as fachadas do edifício, o que facilitou a otimização da ventilação natural, uma vez que no meio rural estas habitações estão distanciadas entre si, não tendo qualquer tipo de obstrução significativa à ventilação natural e à incidência da radiação solar.

Entretanto, por não haver obstruções significativas no entorno da edificação, melhor descrito no item 2.3., os ventos predominantes nos períodos mais frios do ano são incômodos, sendo necessário usar de mecanismos de desvio dessa potencialidade. É importante salientar também que como o clima desta região se caracteriza por verões quentes e chuvosos e invernos secos, é necessário priorizar a proteção quanto à incidência de radiação solar, e a escolha de materiais construtivos com maior atraso térmico em virtude da amplitude térmica.

O *software* ARQUITROP gerou as figuras 2 e 3. Uma com dados climáticos do município de Ribeirão Preto com médias mensais e anuais de variáveis como temperatura, umidade relativa, precipitação e nebulosidade e a outra com recomendações para projeto (Método Mahoney Adapt).

| >> ARQUITROP 3.0 - BANCO DE DADOS CLIMATICOS | | | | | | | FICHA : 21/SP | | | << | |
|--|------|------|------|-------|-----------|-----------|---------------|------|-----|-----|-----|
| Cidade: RIBEIRAO PRETO (77/86) | | | | UF:SP | Lat:21 10 | Lon:47 48 | Alt:547 | | | | |
| | MAX. | MIN. | AMPL | MED. | MED. | AMPL | UM | CHU | NEB | DIR | VEL |
| | ABS. | ABS. | ABS. | MAX. | MIN. | MED. | RL | TOT | MED | VEN | VEN |
| 01 JAN | 36.1 | 13.3 | 22.8 | 29.2 | 18.2 | 11.0 | 81 | 283 | 6.9 | --- | .-. |
| 02 FEV | 34.8 | 14.3 | 20.5 | 30.9 | 18.8 | 12.1 | 75 | 175 | 5.6 | --- | .-. |
| 03 MAR | 35.2 | 12.4 | 22.8 | 30.1 | 17.8 | 12.3 | 74 | 169 | 5.9 | --- | .-. |
| 04 ABR | 32.4 | 10.3 | 22.1 | 29.0 | 16.1 | 12.9 | 70 | 106 | 5.2 | --- | .-. |
| 05 MAI | 31.4 | 1.0 | 30.4 | 27.2 | 14.0 | 13.2 | 71 | 62 | 4.7 | --- | .-. |
| 06 JUN | 30.8 | -0.8 | 31.6 | 26.1 | 12.4 | 13.7 | 66 | 36 | 3.9 | --- | .-. |
| 07 JUL | 31.9 | -1.2 | 33.1 | 26.9 | 12.1 | 14.8 | 61 | 24 | 3.6 | --- | .-. |
| 08 AGO | 34.3 | 2.4 | 31.9 | 28.7 | 14.2 | 14.5 | 60 | 32 | 4.8 | --- | .-. |
| 09 SET | 36.3 | 6.3 | 30.0 | 29.1 | 15.0 | 14.1 | 59 | 75 | 5.2 | --- | .-. |
| 10 OUT | 37.3 | 9.5 | 27.8 | 27.9 | 16.7 | 11.2 | 62 | 127 | 6.0 | --- | .-. |
| 11 NOV | 38.0 | 9.3 | 28.7 | 30.8 | 17.8 | 13.0 | 70 | 174 | 6.5 | --- | .-. |
| 12 DEZ | 35.2 | 12.2 | 23.0 | 28.9 | 17.8 | 11.1 | 78 | 364 | 7.1 | --- | .-. |
| 13 ANO | 34.5 | 7.4 | 27.1 | 28.7 | 15.9 | 12.8 | 69 | 1625 | 5.5 | --- | .-. |

Figura 2: Banco de Dados Climáticos para Ribeirão Preto. Fonte: ARQUITROP.

| >> ARQUITROP módulo:RECOMENDACOES PARA PROJETO (METODO MAHONEY ADAPT.) << | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-------|------|----------|------|----------|------|---------|------|
| Cidade:RIBEIRAO PRETO (77/86) | | | | | UF:SP | | TMA:21.5 | | AMA:19.0 | | ALT:547 | |
| | JN | FV | MR | AB | MA | JN | JL | AG | ST | OT | NV | DZ |
| MAX | 29.0 | 31.0 | 30.0 | 29.0 | 27.0 | 26.0 | 27.0 | 28.5 | 29.0 | 28.0 | 31.0 | 29.0 |
| MIN | 18.0 | 19.0 | 18.0 | 16.0 | 14.0 | 12.5 | 12.0 | 14.0 | 15.0 | 16.5 | 18.0 | 18.0 |
| AMP | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 13.0 | 13.0 | 13.5 | 15.0 | 14.5 | 14.0 | 11.5 | 13.0 | 11.0 |
| UMI | 81 d | 75 d | 74 d | 70 c | 71 d | 66 c | 61 c | 60 c | 59 c | 62 c | 70 c | 78 d |
| CHU | 283 | 175 | 169 | 106 | 62 | 36 | 24 | 32 | 75 | 127 | 174 | 364 |
| DIA | QUEN | QUEN | QUEN | **** | **** | **** | **** | **** | **** | **** | QUEN | QUEN |
| NOI | **** | **** | **** | FRIO | FRIO | FRIO | FRIO | FRIO | FRIO | FRIO | **** | **** |
| <hr/> IMPLANT Fach. maiores Nor/Sul (menor insolação). Afastar. Controle vento. ABERTUR Entre 15% e 25% das fachadas. Sombrear. Ventilar. Proteg/chuva. PAREDES Pesadas , K $\frac{3}{4}$ 1.98 W/m ² .C, RETARD = 8 horas, FATOR SOL $\frac{3}{4}$ 4 % COBERT. Pesadas , K $\frac{3}{4}$ 0.81 W/m ² .C, RETARD = 8 horas, FATOR SOL $\frac{3}{4}$ 3 % <hr/> [G]rafico ou tecla [ENTER] para voltar ao MENU | | | | | | | | | | | | |

Figura 3: Recomendações para projeto (Método Mahoney Adapt.) em Ribeirão Preto. Fonte: ARQUITROP.

De acordo com os dados apresentados pelas figuras 2 e 3 é possível estabelecer algumas diretrizes projetuais na fase de implantação e estudos preliminares que permitem *a priori* otimizar as variáveis climáticas de maneira a tornar os ambientes projetados termicamente mais confortáveis.

O clima tropical da região se caracteriza por verões quentes e chuvosos e invernos secos. A umidade relativa do ar em Ribeirão Preto registrou no dia 21/08/2006, às 16h, o índice mais baixo de todos os tempos, 4,8%, deixando a cidade em estado de emergência. Não há registro de umidade mais baixa no país. A medição, divulgada pela Defesa Civil do Estado e o Cptec (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), foi feita na estação meteorológica do aeroporto da cidade. O recorde anterior de Ribeirão era de 7% de umidade, em setembro de 2004.⁸ Mesmo com a desconfiança de alguns especialistas que desconhecem o método usado por estas medições, o índice de umidade esteve relativamente baixo nesta região.

A temperatura média das mínimas do mês mais frio atinge 12°C e a média das máximas do mês mais quente chega a 31°C. O total das chuvas do mês mais seco atinge 24 mm, e o do mês mais chuvoso atinge valores dez ou mais vezes

⁸ Dados extraídos do site: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u125239.shtml>> em 28/08/2006.

maiores do que os do mês mais seco. O período seco dura de junho a agosto, embora na prática varie num período de seis meses (junho a novembro, com déficit hídrico mais intenso, ou de abril a setembro, considerando o período com menos chuvas). A precipitação pluvial (Pre) máxima mensal foi de 364 mm com valores acumulados anuais de 1625 mm.

Ocorreram temperaturas extremas com mínimas absolutas de $-1,2^{\circ}\text{C}$ e máximas absolutas de $38,0^{\circ}\text{C}$. As médias das amplitudes térmicas variam entre $11,0$ e $14,8^{\circ}\text{C}$ e as amplitudes absolutas variam de $20,5^{\circ}\text{C}$ à $33,1^{\circ}\text{C}$. As maiores amplitudes térmicas ocorreram em julho.

Contudo estes foram os dados climáticos mais significativos apresentados para esta região, especificamente para a cidade de Ribeirão Preto, São Paulo. As principais recomendações para projeto se encontram na figura 3. O ARQUITROP indica privilegiar a implantação com as faces maiores voltadas para a direção norte e sul (menor insolação) e ter a possibilidade de controle de vento. As aberturas necessitariam ocupar entre 15 % e 25% da área das fachadas e ter a possibilidade de sombrear, ventilar e proteger das chuvas. As paredes teriam que ser do tipo pesadas, com um U (transmitância térmica) menor ou igual à $1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$, atraso térmico maior ou igual à 8 horas e Fator Solar menor ou igual à 4% (cor clara). E as coberturas também teriam que ser pesadas, com um U menor ou igual à $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$, atraso térmico maior ou igual à 8 horas e Fator Solar de 3% (cor clara)⁹.

Verificou-se que o ARQUITROP é uma importante ferramenta de consulta quando se pretende considerar aspectos de conforto térmico em projetos arquitetônicos e definição de implantação de edificações. Entretanto, em 2005 foi aprovada uma norma brasileira de desempenho térmico de edificações.

Sendo assim, a verificação de enquadramento das tipologias habitacionais do assentamento Sepé Tiaraju escolhidas para avaliação comparativa de desempenho térmico em parâmetros de conforto térmico será feita no Capítulo 4 através do estudo e aplicação da norma da ABNT, NBR 15220/2005-3, Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse social.

⁹ A nomenclatura e unidade de medida das variáveis transmitância térmica e atraso térmico foram adaptadas para a que está sendo usada pela ABNT NBR 15220.

2.3 Caracterização de aspectos físicos e do microclima local – Assentamento Rural Sepé Tiaraju

De acordo com a imagem extraída da ferramenta de consulta a informações geográficas por meio de imagens aéreas, Google Earth, com um recorte mais ampliado da área de estudo (ver figura 4), observa-se a presença de recursos hídricos nas proximidades do assentamento rural Sepé Tiaraju, objeto empírico desta pesquisa, como o córrego Serra Azul que desemboca no rio Pardo, pertencente à Bacia Hidrográfica dos rios Pardo e Moji-Guaçu e que serve como limite de município com as cidades de Altinópolis e Santa Cruz da Esperança.

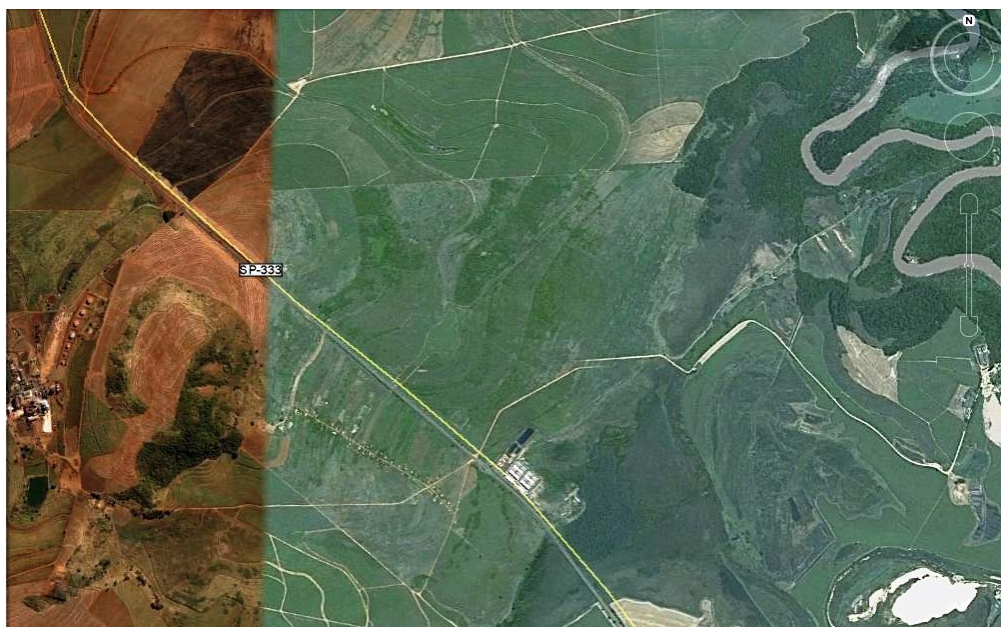
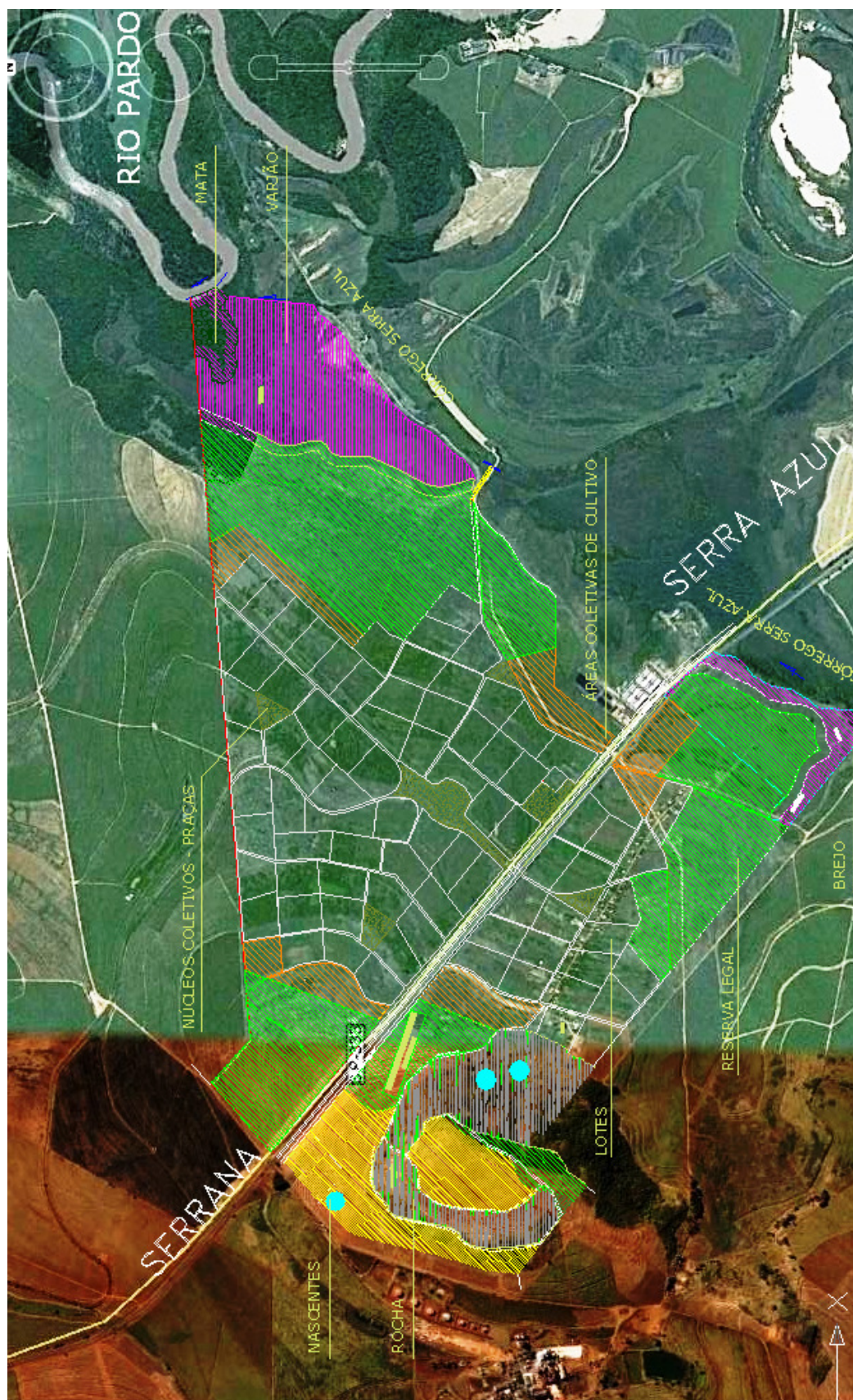


Figura 4: Imagem aérea da área de estudo. Fonte: Google Earth, acessado em dezembro de 2009.

O registro desta imagem aérea foi feito em 2002 e, portanto, em período anterior ao da construção das casas do assentamento Sepé Tiaraju. De acordo com a imagem em análise, a paisagem local era composta principalmente pelo plantio de cana-de-açúcar, comprovada pelos inúmeros recortes regulares feitos no solo compartimentando-o. A vegetação mais densa, caracterizada pela cor verde mais escura se dá predominantemente às margens do rio Pardo, e possui área relativamente pequena se comparada à grande área de cultivo da região.

Entretanto, através da sobreposição da planta topográfica feita do Sepé Tiaraju, com a divisão em lotes e áreas coletivas, foi possível analisar a relação deste assentamento com o seu meio ambiente (ver figura 5).



Figuras 5: Imagem aérea da área de estudo com sobreposição da planta topográfica do assentamento Sepé Tiaraju. Fonte: Google Earth, consultado em dezembro de 2009, e Grupo HABIS 2006.

Observa-se através da imagem aérea com a sobreposição da planta topográfica que a área de estudo não possui relevo muito acidentado. É dividida em duas grandes áreas por uma estrada que liga os municípios de Serra Azul e Serrana, Estado de São Paulo, a SP 330 Abrão Assed.

O assentamento possui 80 lotes, divididos em 4 núcleos com aproximadamente 20 famílias cada. Os lotes são destinados à construção das casas e à produção particular das famílias, com cerca de 3,6 ha cada, que cultivam, em sua grande maioria, produtos alimentares de espécies vegetativas de pequeno e médio porte, como mandioca, milho, banana, melancia, hortaliças, entre outros. De acordo com a organização espacial dos lotes no terreno é possível perceber que foi respeitado o relevo local.

O assentamento possui, além dos lotes particulares, áreas coletivas de lazer e plantio, uma área destinada à reserva legal, um pequeno maciço de mata margeando o rio Pardo, duas áreas de brejo, uma delas conhecida como “varjão”, ao longo do córrego Serra Azul e algumas nascentes em meio a uma área mais rochosa.

De acordo com as imagens a seguir (ver figuras 6 e 7) é possível observar a composição típica da paisagem percebida quando se visita os lotes deste assentamento. Verifica-se a ausência de espécies vegetativas de grande porte, que poderiam funcionar como obstrução significativa à incidência da radiação solar nas casas que estão sendo construídas, ou até mesmo como sombreamento de seus moradores que tanto sofrem com o calor excessivo no local na maior parte do ano. As poucas árvores de grande porte existentes acabam servindo como referência para localização dentro do assentamento, como a mangueira da escola, por exemplo, local agradável para a realização de reuniões ao ar livre entre os diferentes parceiros do Projeto Sepé Tiaraju.



Figura 6: Imagens do lote da tipologia de 3 quartos com varanda construída com bloco cerâmico estrutural. Fonte: Grupo HABIS, setembro de 2009.



Figuras 7: Imagens do lote da tipologia de 3 quartos com varanda construída com adobe estrutural. Fonte: Grupo HABIS, setembro de 2009.

As imagens dos lotes da tipologia de 3 quartos com varanda com bloco cerâmico ou adobe estrutural foram escolhidas como representativas do assentamento. A justificativa para a escolha destes lotes, bem como suas unidades habitacionais submetidas à avaliação de desempenho térmico se encontra no Capítulo seguinte.

Conclui-se desta maneira que as unidades habitacionais implantadas no assentamento não sofrem efeitos de sombreamento significativos, mas ficam bastante expostas aos ventos predominantes da região, que nos períodos mais frios do ano são intensos e incômodos, segundo relato dos próprios moradores locais.

CAPÍTULO 3

3. O PROJETO SEPÉ TIARAJU

O Capítulo 3 descreve o projeto Sepé Tiaraju, iniciado em 2006 e em vigência até os dias de hoje com a fase de construção das habitações em regime de mutirão. Este capítulo faz a contextualização do objeto empírico desta pesquisa, o assentamento rural que recebe o nome do projeto. Descreve o processo de assentamento das famílias nos lotes e de elaboração do projeto arquitetônico e definição de implantação com assessoria técnica do HABIS. O objetivo principal desta etapa é a identificação das potencialidades das variáveis adotadas na busca pela melhoria da qualidade das habitações. Conclui com a escolha das tipologias representativas do projeto Sepé Tiaraju para serem submetidas à avaliação comparativa de desempenho térmico.

3.1 Objetivos gerais do projeto Sepé Tiaraju

Os objetivos gerais do projeto Sepé Tiaraju, que conta com a assessoria técnica do Grupo HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade da Escola de Engenharia de São Carlos – USP e UFSCar), visam atingir um maior grau de sustentabilidade na implantação de 77 habitações no assentamento rural, em Serra Azul-SP. Levando em consideração seu sistema de saneamento ambiental, agricultura de transição agro-ecológica, bem como integrar as diferentes áreas necessárias para se garantir a permanência do trabalhador no campo com qualidade de vida, sistema auto-gestionário e geração de trabalho e renda (ver figura 8).



Figura 8: Objetivos gerais do Projeto Sepé Tiaraju. Fonte: Paula Russo, Grupo HABIS, 2006.

3.2. Caracterização do objeto empírico: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP

O Assentamento Rural Sepé Tiaraju está localizado no município de Serra Azul-SP, e é constituído por 80 famílias, com um tempo de regularização de 6 anos, em uma área de 797,75 ha. É resultado de um processo de luta iniciado em 17 de abril de 2000, ocasião em que ocorreu a ocupação da fazenda Santa Clara, propriedade pertencente a uma usina que, por contrair várias dívidas junto ao governo estadual teve sua área arrecadada em 1992. Contudo, tal arrecadação não se realizou de fato, à medida que as terras continuaram a ser exploradas e arrendadas pela usina.

O Assentamento Sepé Tiaraju se organiza em quatro núcleos de aproximadamente 20 famílias cada: Paulo Freire, Dandara, Chico Mendes e Zumbi dos Palmares. E, segundo afinidades entre famílias, ficaram cerca de 3,6 ha para construção da casa e produção particular de cada família; cerca de 3 ha para desenvolvimento de um espaço social (praça) e 60 ha para a produção coletiva de cada núcleo.

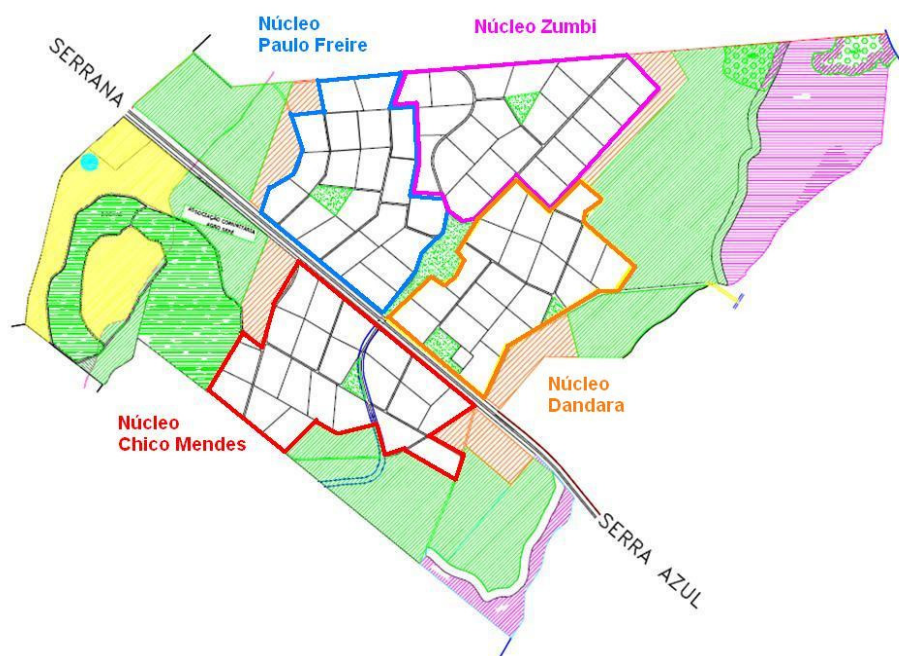


Figura 9: Mapa do Assentamento Sepé Tiarajú com a identificação dos 4 núcleos: Paulo Freire, Chico Mendes, Dandara e Zumbi. Fonte: Grupo Habis, 2006.

O parcelamento em lotes e a abertura das estradas respeitaram o relevo local, preservou as curvas de nível, aproveitou e melhorou as estradas já abertas e

os terraços delineados na área. No assentamento é desenvolvido o Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), primeiro do Estado de São Paulo, baseado no manejo sustentável que leva em conta as questões sociais e ambientais através da implementação de sistemas Agroflorestais¹⁰ e Agroecologia¹¹, voltados para a combinação de várias culturas e espécies de vegetação nativa (INCRA, 2006).

Estão sendo construídas 77 habitações no Assentamento Sepé Tiaraju, 72 unidades em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, 1 em adobe estrutural (tijolo de terra crua), 1 em tijolo de solo-cimento estrutural e 3 em sistema estrutural pilar e viga em eucalipto roliço com vedação em materiais alternativos. As famílias contam com financiamento pela Caixa Econômica Federal através de um Convênio CEF/INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), no Programa de Carta de Crédito – Operações Coletivas, que permite a viabilidade financeira para a produção das casas e nesse processo introduzir tecnologias mais sustentáveis na construção da habitação no meio rural.

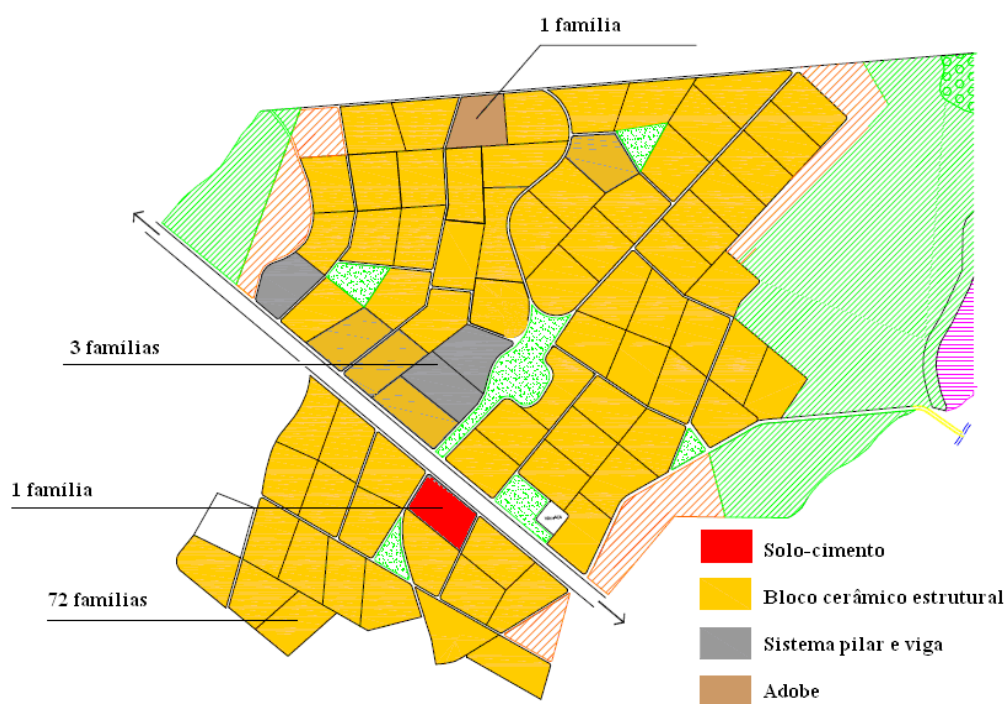


Figura 10: Mapa do Assentamento Sepé Tiarajú com a divisão por tipologias. Fonte: Grupo Habis, 2006.

¹⁰ Os SAFs (Sistemas Agroflorestais) referem-se a uma ampla variedade de formas de uso da terra, onde árvores e arbustos são cultivados de forma interativa com cultivos agrícolas, pastagens e/ou animais, visando a múltiplos propósitos, constituindo-se numa opção viável de manejo sustentado da terra. (RIBASKI, J; MONTOYA, L. J. & RODIGHERI, H. R., 2002)

¹¹ A expressão “Agroecologia” surge na década de 1970 como área de conhecimento que traz contribuições no (re)estabelecimento dos vínculos entre ecologia e agricultura. Propõe novas formas de relação entre sociedade e natureza, visando apoiar a transição para uma agricultura sustentável, em suas dimensões ecológica, econômica, social, cultural, política e ética. Tem compromisso em apoiar iniciativas em busca de soluções para os problemas de ordem sócio-ambiental, que se refletem no campo e na cidade. (EMBRAPA – Rede Regional de Agroecologia, 2006)

As etapas já realizadas, até o momento, pelo HABIS em conjunto com as famílias do Assentamento Sepé Tiaraju, para a produção das moradias e das infra-estruturas foram: 1) definição do projeto arquitetônico e do sistema construtivo das moradias com a participação organizada das famílias; 2) organização das famílias para a gestão de suprimentos e para a execução no canteiro de obras; 3) locação das habitações nos lotes; 4) planejamento para a fabricação mecanizada de adobes; 5) estudo de alternativas para a aquisição de esquadrias em madeira de plantios florestais produzidos na Marcenaria Coletiva do Assentamento Rural Pirituba II; 6) estudo e escolha de alternativa mais sustentável para tratamento de efluentes das habitações; 7) produção de sistemas de coberturas pré-fabricadas, também em madeira de plantios florestais, eucalipto e pinus, feitas no próprio assentamento;

A etapa de construção das 77 habitações no assentamento em sistema de mutirão foi iniciada em abril de 2007 e atualmente encontra-se em andamento nas etapas finais para conclusão da obra.

3.3 O projeto Sepé Tiaraju – parceria HABIS e famílias

Para o desenvolvimento da metodologia proposta para esta pesquisa torna-se necessário fazer um recorte temporal e descritivo do processo participativo das fases de elaboração de projeto arquitetônico, escolha de materiais construtivos e definição de implantação das unidades habitacionais do assentamento Sepé Tiaraju, objeto empírico da pesquisa. Atualmente, as casas se encontram na etapa de construção em sistema de mutirão, sendo que não acompanham o mesmo ritmo de obra por inúmeros fatores externos como problemas com saúde na família, divisão do tempo de trabalho entre a produção no lote e a obra, entre outros. A fase estudada inicia-se no primeiro semestre de 2006 e chega até os dias de hoje.

Desde o início, a intenção do HABIS era a de construir um projeto arquitetônico em conjunto com as famílias do assentamento Sepé Tiaraju trabalhando com os seus sonhos, expectativas e necessidades desde a escolha do material construtivo, criação e disposição dos ambientes internos da habitação, preocupação com insolação, ventilação, estética da edificação, praticidade e facilidade de execução da obra, dentre outros parâmetros, com base em conceitos e técnicas mais sustentáveis.

Foram realizadas inúmeras reuniões até que se chegasse ao produto final para aprovação junto à CAIXA. No início, essas reuniões eram feitas por núcleos, organização pré-estabelecida por eles desde o início das negociações com a assessoria técnica do HABIS. Ficou acordado entre as famílias e a assessoria técnica que numa primeira fase seriam projetadas duas tipologias por núcleo. Entretanto, diante da similaridade entre os projetos criados nos núcleos, definiram-se com as famílias do Sepé três tipologias finais, e deste modo facilitou a organização para o trabalho coletivo em mutirão, a atuação da assessoria técnica e, também, a compra de materiais em grandes quantidades, barateando os preços e fortalecendo o mercado de materiais construtivos da região.

O passo seguinte foi firmar alguns acordos entre os núcleos e de núcleos com a assessoria técnica. As famílias viam a parceria com a assessoria técnica do HABIS como uma oportunidade de troca de conhecimentos, experiências, aumento das relações campo-cidade e possibilidade de transição para a agroecologia.

Entretanto, alguns entraves foram diagnosticados neste processo, como a pressa pela construção das casas devido a necessidade dos assentados de saírem dos barracos em que viviam e a dificuldade em se cumprir um cronograma de obras no meio rural, pois quando esse período coincide com a época das chuvas, de plantio ou colheita da lavoura os assentados aproveitam o período para maior dedicação nos lotes, diminuindo o ritmo de obra. O ritmo e o tempo de andamento de um empreendimento como esse é diferente de um do meio urbano.

Contudo, antes que se iniciasse o processo de criação do projeto arquitetônico das tipologias alguns acordos foram firmados, são eles:

- Reforço e ampliação da organização coletiva do assentamento;
- Elaboração de um regimento interno para cumprimento dos acordos;
- Aumento de trocas solidárias dentro dos núcleos, entre os núcleos, entre assentamentos;
- Assentamento Sepé Tiaraju como laboratório para outros assentamentos;
- Adequação do cronograma das obras e da produção (plantio, colheita, comercialização);
- Utilização de recursos locais e renováveis;
- Incorporação de conceitos para a casa agroecológica;
- Adequação do custo da casa e orçamento;
- Elaboração e execução do projeto da casa e do entorno/lote;

- Aumento das oportunidades de trabalho e renda durante a construção das casas.

3.3.1 O projeto arquitetônico

Num primeiro momento, para a criação do projeto arquitetônico das casas do Sepé foram feitas reuniões com cada núcleo separadamente e o objetivo principal era extrair dois modelos de projeto arquitetônico por núcleo, unir as características equivalentes entre os desenhos gerados pelos outros núcleos e posteriormente fundir as semelhanças gerando um número menor de tipologias com maior embasamento técnico.

Para se iniciar a conversa sobre como seria a casa dos sonhos das famílias do Sepé tornava-se necessário saber quais os usos que ela deveria ter. Considerando que cada família tinha suas próprias necessidades, a participação do maior número de famílias por reunião nos núcleos era sumariamente importante. Para isso, perguntas chaves estimularam essa participação:

“O que é morar na casa?”

“O que vocês esperam ter na casa?”

“O que vocês fazem na casa?”

“Pra que vocês usam a casa?”

Primeiramente, foi listado um programa de necessidades por meio das respostas das famílias às perguntas feitas pelos assessores técnicos nas reuniões com os núcleos. E através do método de cartelas e bloquinhos de mobiliário em planta feitos com cartolina e colados num papel Kraft, método que permite grande flexibilidade de criação, os assessores em conjunto com as famílias projetaram os espaços que comportavam os usos de cada ambiente citado no programa de necessidades já com os móveis e equipamentos necessários. No momento seguinte, delimitaram-se as dimensões a partir de condicionantes como o valor do financiamento e a escolha do material construtivo.



Figura 11: Núcleo Chico Mendes participando da criação dos primeiros desenhos da casa através do método de cartelas e bloquinhos de mobiliário colados em papel Kraft. Fonte: Grupo Habis, 2006.



Figura 12: Núcleo Dandara participando da criação dos primeiros desenhos da casa através do método de cartelas e bloquinhos de mobiliário colados em papel Kraft. Fonte: Grupo Habis, 2006.



Figura 13: Núcleo Paulo Freire participando da criação dos primeiros desenhos da casa através do método de cartelas e bloquinhos de mobiliário colados em papel Kraft. Fonte: Grupo Habis, 2006.

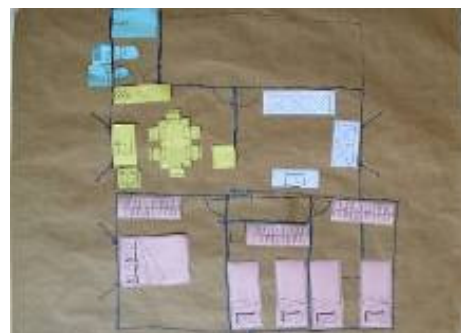


Figura 14: Núcleo Zumbi participando da criação dos primeiros desenhos da casa através do método de cartelas e bloquinhos de mobiliário colados em papel Kraft. Fonte: Grupo Habis, 2006.

Alguns pontos em comum foram extraídos das conversas com as famílias como a necessidade de um fogão à lenha, sendo que este ficaria do lado externo da casa para que não enchesse de fumaça e esquentasse internamente a moradia em épocas quentes. A varanda também é um espaço importante, é uma extensão da área de convívio, até mais que a sala; serve para receber visitas não muito íntimas, para guardar o carro, para estender a rede, entre outros usos. Mas uma das maiores preocupações levantadas pelas famílias era se a casa teria uma laje de concreto e para isso a estrutura deveria suportá-la. Quando perguntados sobre o porquê da necessidade de se ter uma laje, as famílias responderam que era por causa da presença de insetos (pernilongos), ventos e chuvas fortes e segurança estrutural.

A partir das primeiras impressões das famílias sobre como queriam que fossem suas casas, sistematizaram-se os desenhos criados no papel Kraft e observou-se que havia algumas semelhanças entre os desenhos feitos pelos diferentes núcleos. A estratégia seguinte foi a de acrescentar aos desenhos um pouco de rigor técnico e voltar ao assentamento para perguntar às famílias de cada núcleo o que achavam que tinha melhorado ou piorado do desenho anterior. Foram discutidas questões como uma ou duas águas de telhado, extensão do corredor, a quantidade de quartos, ter ou não varanda, ter ou não cozinha integrada, posicionamento do banheiro, altura do pé-direito, ter ou não despensa, entre outros pontos técnicos. O objetivo principal neste momento era definir as prioridades projetuais, de forma a entrar num consenso dos pontos comuns.

Com o levantamento dos pontos comuns defendidos pelas famílias de todo os núcleos, bem como com os desenhos gerados nas reuniões, pode-se analisar e sistematizar os dados e traçar uma proposta de tipologias finais a ser apresentada aos assentados em uma assembléia geral. Foram projetadas então três tipologias: uma planta de 2 quartos e outra de 3 quartos com material cerâmico e uma planta de 3 quartos com material alternativo, neste caso o adobe.

Na assembléia geral para escolha das tipologias foram colocadas lado a lado as plantas geradas pelas famílias e as três plantas propostas pela equipe de assessores técnicos do HABIS. Efetuou-se então uma votação família por família para saber qual das três tipologias elas queriam e se aceitariam o projeto com correções técnicas proposto pelos assessores a partir dos próprios desenhos criados por elas. De maneira geral as tipologias propostas pelos assessores tiveram

boa aceitação e ao final da assembléia definiu-se que seriam mesmo três tipologias finais e o número de famílias que havia escolhido cada uma delas.



Figura 15: Sistematização dos projetos gerados pelo núcleo Paulo Freire com acréscimo das propostas feitas pela equipe técnica (1ª imagem) e painel de votação das tipologias finais família por família (2ª imagem). Fonte: Grupo Habis, 2006.

A próxima etapa agora consistia em escolher e aplicar o material construtivo no projeto arquitetônico das tipologias criadas para avaliar as dimensões possíveis a partir dos custos de diferentes sistemas construtivos limitados pelo valor liberado pelo financiamento.

3.3.2 A escolha do material construtivo

Para iniciar a discussão sobre a escolha do material construtivo, elaborou-se um quadro com características como as diferenças de qualidade, de custo, resistência, mão-de-obra, segurança, durabilidade e reciclagem de diferentes

sistemas construtivos, com a possibilidade ainda das famílias indicarem outros sistemas. Para esta etapa, perguntas chaves foram feitas às famílias em reuniões para estimular e quebrar preconceitos pelos materiais e sistemas ali apresentados, foram elas:

**“Quanto custa?” “É bonito?” “É fácil de fazer?” “É agradável?” “É durável?”
 “Pode repor na natureza?” “O que acontece quando chove?” “Como é no inverno e no verão?” “Pode gerar trabalho e renda?” “Polui o ambiente?”**

As respostas a estas questões foram preenchidas em um quadro comparativo criado pelos assessores em conjunto com as famílias para aumentar o repertório delas em relação a diferentes materiais e para esclarecer possíveis dúvidas.



Figura 16: Imagens da reunião para escolha do material construtivo. Fonte: Grupo Habis, 2006.

Em resposta, a maioria das famílias teve preferência pelos tijolos cerâmicos (tijolo baiano para vedação) e sistema estrutural de pilares, vigas e lajes de concreto, havendo pronta aversão ao adobe. No decorrer da discussão sobre possíveis materiais construtivos e sistemas estruturais, tentou-se mostrar quais as vantagens de se escolher o adobe. Por ele ser de custo mínimo, pois as famílias que optassem por este sistema usariam a terra, a palha e a água do próprio assentamento ou do lote, se possível, além de ser menos agressivo quando retornasse ao meio ambiente. Justificou-se o uso do adobe pela sustentabilidade, por ser um recurso renovável, pela aproximação com a agroecologia, podendo ser melhorado tecnicamente além de ter um bom desempenho térmico.

Entretanto, neste momento apenas um grupo de 10 famílias se mostrou solícito à escolha de materiais alternativos mais sustentáveis (locais e renováveis). De maneira geral, a discussão gerada entre os materiais permeou entre cerâmico, concreto e adobe.

Ao se questionar sobre o porquê da não aceitação do adobe, registraram-se algumas falas das famílias que bem contextualizam o material como algo já utilizado

no passado, que trouxeram problemas como doenças, que não resistiram às intempéries temporais ou apenas por desconhecimento, insegurança, foram elas: **“pra aceitar, tenho que conhecer uma casa feita”**; **“não vamos fazer que nem formiga, morar debaixo da terra”**; **“a casa de adobe já provocou muitas mortes pelo barbeiro”**; **“a casa de adobe não deixou saudade, não vou voltar pro passado”**; **“casa de barro desmancha”**.

As famílias acabaram se dividindo em dois grupos distintos, entre os que queriam material cerâmico e os que optaram por técnicas mais sustentáveis, como o adobe, viabilizando assim que a equipe HABIS aceitasse a demanda pela assessoria técnica para construção das casas deste assentamento.

Na reunião com as famílias com maior propensão à escolha de materiais mais sustentáveis, as pessoas defenderam a bandeira pela aproximação com a agroecologia, como visto na seguinte fala: **“acho que uma alternativa ecológica vai mais com a nossa luta.”** Entretanto a escolha pelo material no meio rural precisa levar em conta questões como o tempo de produção do tijolo, uma vez que são trabalhadores rurais e precisam tirar seu sustento da terra e isto demanda tempo. Por isso, para que se produzam adobes é necessário um bom planejamento e cumprimento do cronograma de produção por parte das famílias para evitar período de cultivo, colheita ou comercialização e o período de chuvas.

Mas, como visto anteriormente, a grande preocupação das famílias do Sepé era se a casa teria uma laje de concreto. Estudou-se então a possibilidade de aplicação de uma alvenaria portante (blocos cerâmicos estruturais), que eliminaria o uso de concreto e barras de aço para armação em pilares e vigas e que suportaria uma laje posterior ao tempo de construção pelo financiamento, mantendo a metragem quadrada da área dos projetos que vinham se delineando. Uma laje de concreto encareceria a obra tendo que diminuir a área das casas, igualando-as aos padrões de casas COHAB, o que não era o desejo das famílias envolvidas.

Com relação às esquadrias, dentre os tipos levantados através de um quadro comparativo, o escolhido foi a de madeira, decisão tomada pela maioria das famílias presentes. Apresentou-se então os trabalhos realizados pela marcenaria Madeirarte, empreendimento formado por mulheres e jovens, a partir da demanda pela produção de componentes de madeira para o assentamento Pirituba II, experiência de construção de 42 casas assessorada também pelo grupo HABIS. Esta marcenaria gerou trabalho e renda para as famílias do assentamento de Itapeva/SP, barateando

os custos de produção e frete de entrega. Uma proposta dada pela equipe de assessores e pelas marceneiras e acatada pelas famílias seria a de demandar a produção de janelas das casas do Sepé à Madeirarte como forma de incentivo ao empreendimento, de interação entre dois assentamentos rurais e de baratear os custos deste produto.



Figura 17: Apresentação da Madeirarte; janelas produzidas para Pirituba II e; protótipo de janela veneziana para o Assentamento Sepé. Fonte: Grupo Habis, 2007.

Quanto à cobertura, foi apresentado o sistema VLP, sistema de vigas laminadas pregadas com madeira serrada de pinus de terceira qualidade (de rejeito de exportação) com inovação no desenho que dispensa a estrutura caibros, ripas e terças, com redução de custos e uso de recursos locais, sistema utilizado nas casas do assentamento Pirituba II, em Itapeva/SP.

Entretanto, a reaplicação da solução adotada em Pirituba II não se viabilizou, principalmente, por agregar custos que não estavam incluídos no projeto Sepé, como a mão-de-obra no processo de produção na marcenaria e o frete de transporte. Sendo assim, para a cobertura das casas do Sepé, projetou-se um novo sistema composto de painéis pré-fabricados em madeira de plantios florestais (pinus e eucalipto) mantendo-se a qualidade, desempenho e durabilidade e atendendo às normas brasileiras.



Figura 18: Sistema de cobertura em painéis pré-fabricados em madeira de plantios florestais projetado para o assentamento Sepé Tiaraju. Fonte: desenhos do Ivan do Valle e fotos Grupo Habis, 2007.

Ao final das discussões pela escolha do material construtivo, formaram-se dois grupos: os que haviam optado pelo material cerâmico estrutural (67 famílias) e os que aceitaram trabalhar com materiais alternativos, neste caso o adobe (10

famílias). Os sistemas construtivos escolhidos para a fundação foi a sapata corrida em pedra, para a alvenaria, bloco cerâmico estrutural ou adobe estrutural aparente, para as esquadrias, madeira de reflorestamento produzidas na marcenaria do assentamento rural Pirituba II e para a cobertura, sistema pré-fabricado em madeira de plantios florestais com telha cerâmica romana.

Contudo, recentemente o grupo denominado como Alternativo optou pela mudança do sistema construtivo de vedação, por se tratar de um grupo composto, em sua maioria, por militantes do MST (Movimento dos Trabalhadores Sem Terra), e por isso, por estarem constantemente envolvidos em outras questões que as de construção das casas, restando pouco tempo para dedicação à obra e à produção dos adobes. Das 10 casas, apenas 1 continuou com a opção de adobe estrutural, 5 optaram pela alvenaria estrutural em bloco cerâmico, 1 optou pelo tijolo de solo-cimento estrutural e 3 famílias estão construindo com sistema estrutural de roliços de eucalipto com vedações mistas e diferenciadas: bloco cerâmico não estrutural, adobe, tijolo de solo-cimento, taipa de mão e pedra.

3.3.3 A definição das tipologias para aprovação junto à CAIXA

Com a escolha dos materiais construtivos que comporiam as habitações do Sepé e a partir do valor do financiamento liberado por unidade, fez-se ajustes dimensionais nas tipologias escolhidas. E com isso, as tipologias de material cerâmico perderam a varanda, espaço que seria construído posteriormente por conta das próprias famílias. Apesar das famílias do Sepé privilegiarem o uso de varandas nas habitações, bem como a presença de banheiros externos a elas, optou-se por excluir esses usos do projeto. Entendeu-se que estas habitações sofreriam intervenções posteriores sem, contudo, ocasionar numa diminuição da área construída projetada para as unidades, além de que não comprometeriam o projeto modular estrutural feito pelos assessores técnicos do HABIS. A restrição destes usos foi consequência do financiamento conseguido para o empreendimento limitado a valores baixos por unidade.

Tabela 1: Composição de custos por habitação do assentamento Sepé Tiaraju. Fonte: Grupo Habis, 2007.

| Composição de custos por habitação | | |
|------------------------------------|---------------------|-------------|
| Materiais construtivos | R\$ 10397,20 | 74,8% |
| Saneamento | R\$ 861,80 | 6,2% |
| Mão-de-obra especializada* | R\$ 1807,00 | 13% |
| Assessoria técnica | R\$ 834,00 | 6% |
| TOTAL | R\$ 13900,00 | 100% |

*Entendida como a mão-de-obra terceirizada para serviços específicos.

Nas figuras abaixo, pode-se observar a composição definitiva das tipologias criadas pelas famílias do Sepé, com assessoria técnica da equipe HABIS, para aprovação junto à CAIXA. Neste momento, a mudança de tipologias do grupo Alternativo ainda não havia ocorrido. Sendo assim, foram aprovadas três tipologias finais, conforme havia sido acordado no início das negociações das famílias com a assessoria técnica.

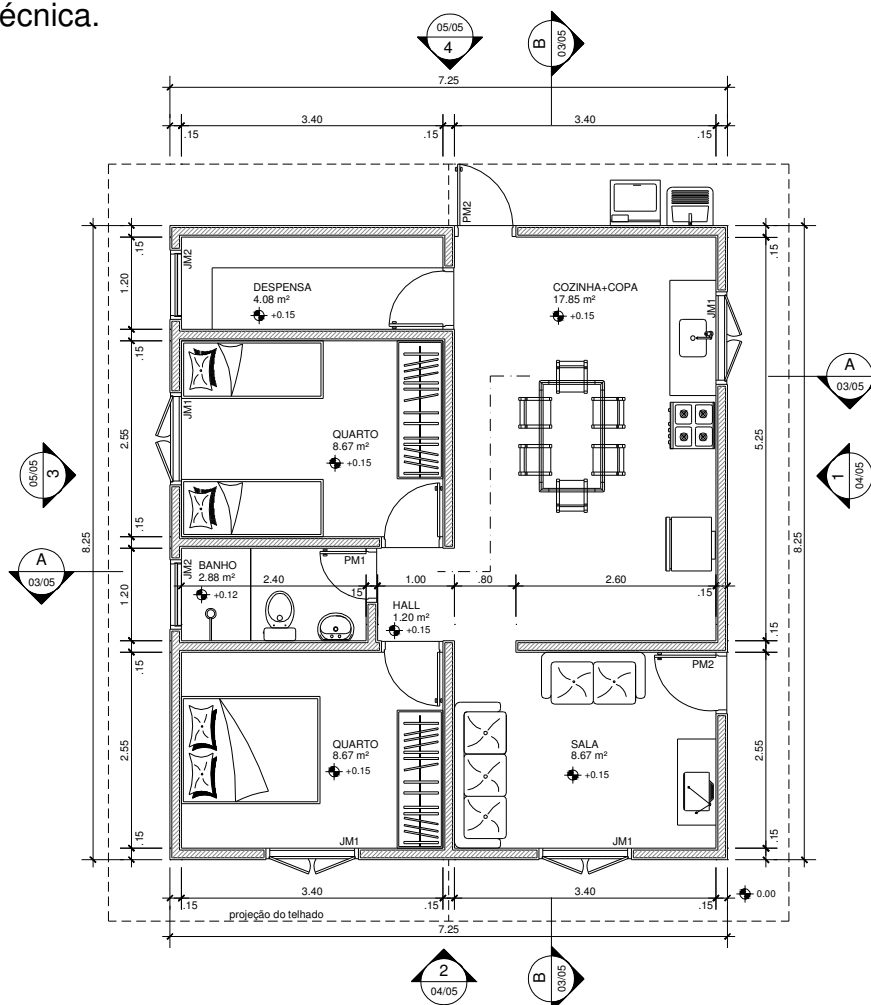


Figura 19: Tipologia de 2 quartos - Convencional. Fonte: Grupo Habis, 2006.

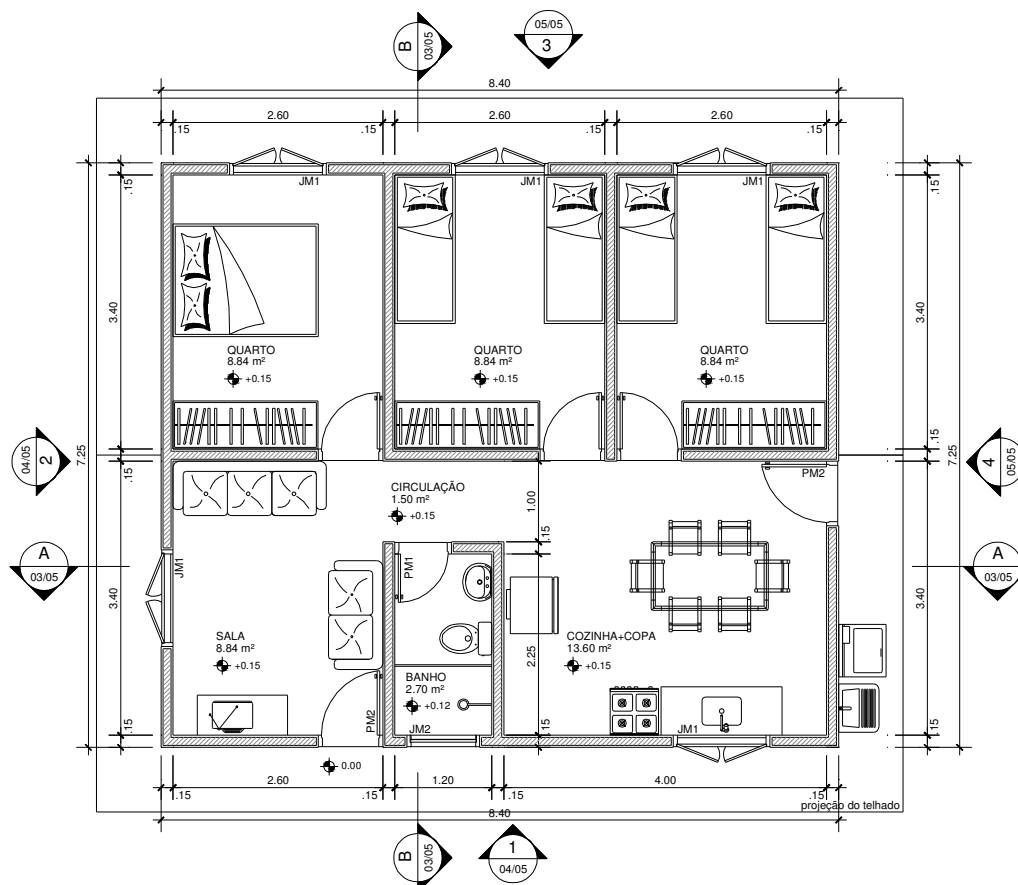


Figura 20: Tipologia de 3 quartos - Convencional. Fonte: Grupo Habis, 2006.

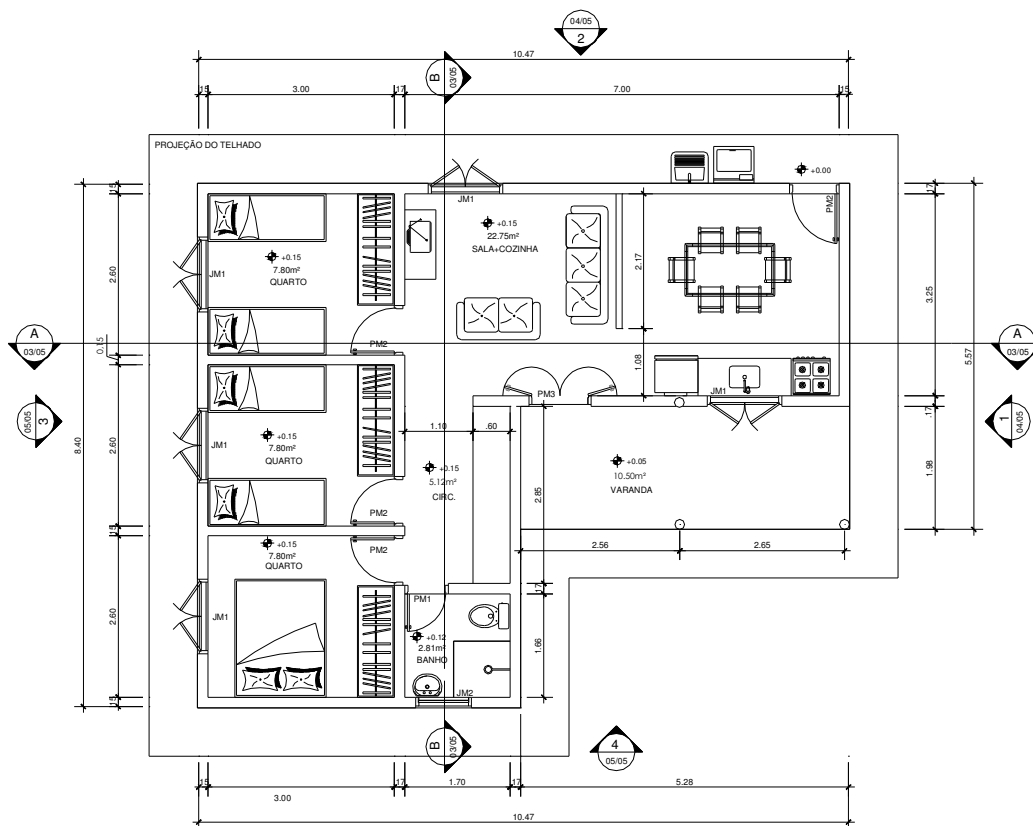


Figura 21: Tipologia de 3 quartos com varanda - Alternativo. Fonte: Grupo Habis, 2006.

3.3.4 A definição da implantação das unidades habitacionais

Com as tipologias habitacionais definidas e aprovadas pela CAIXA, a equipe de assessores iniciou a etapa seguinte que consistia na orientação da implantação das unidades em cada lote do assentamento Sepé Tiaraju. O grupo HABIS se dividiu em várias frentes de trabalho e visitou todos os lotes.

Para auxiliar na orientação da implantação das casas, a equipe de assessores contou com um estudo do diagnóstico climático da área, onde foram levantadas características territoriais, particularidades do terreno, direcionamento dos ventos predominantes, médias mensais de temperatura, amplitude térmica, umidade relativa do ar, dentre outras variáveis climáticas. Tornou-se possível estabelecer algumas diretrizes projetuais na fase de implantação que permitiram, a *priori*, otimizar as variáveis climáticas de maneira a tornar os ambientes projetados mais confortáveis termicamente.

O clima tropical da região se caracteriza por verões quentes e chuvosos e invernos secos, como visto no Capítulo 2. Considerando o diagnóstico climático apresentado, uma estratégia usada foi a de priorizar a ventilação cruzada nos ambientes, principalmente por que apesar do inverno ser rigoroso e do assentamento não ter grandes obstruções aos ventos predominantes, o período quente tem maior frequência nos meses do ano. Neste caso, o projeto arquitetônico contava com aberturas em todas as fachadas o que facilitou a orientação da implantação das unidades em função desta variável. Já para o período de inverno seria importante estudar uma maneira de barrar os ventos incômodos.

A insolação e a orientação da edificação em relação ao Norte também foram variáveis importantes para a implantação das casas. A equipe marcava na planta do terreno onde estaria o sol nascente e o poente e cada família decidia em que fachada ou ambientes queria receber insolação em determinados períodos do dia e épocas do ano. Entretanto, uma condicionante importante e prioritária levada em consideração por muitas famílias era a orientação das casas pelas vistas naturais que gostariam de ter de ambientes específicos, muitas vezes deixando de lado a preocupação com a incidência da radiação solar que poderia aquecer mais determinados ambientes tornando-os desconfortáveis termicamente.

Contudo, apenas uma restrição foi imposta. As famílias deveriam respeitar um distanciamento máximo de 20 metros em relação à rua por causa do poste padrão

de energia elétrica. Ficando então com liberdade para escolher o local de implantação de suas casas em toda a extensão frontal do lote.

De maneira geral, as famílias respeitaram o distanciamento entre edificações, ou seja, não queriam suas casas próximas às dos vizinhos para favorecer a insolação, ventilação natural e ter maior privacidade e tiveram também liberdade de escolher quais as condicionantes tinham maior prioridade para orientação da implantação de suas casas no lote.

3.4 Escolha das habitações representativas

No início do processo de elaboração de projeto arquitetônico das 77 habitações do assentamento Sepé Tiaraju, ano de 2006, foram criadas três tipologias para aprovação junto à CAIXA, uma com vedação em adobe estrutural e duas em bloco cerâmico estrutural, de 2 e de 3 quartos. Sendo assim, quando se pensou em avaliar o desempenho térmico das tipologias habitacionais projetadas para este assentamento, a intenção era a de comparar o desempenho dos dois sistemas construtivos escolhidos inicialmente e aplicados a um mesmo contexto.

Entretanto, recentemente, duas outras tipologias habitacionais foram criadas por razões relacionadas a problemas com a produção de adobes ao longo do processo. Das 10 famílias que haviam optado pela tipologia de adobe no início do projeto, 5 migraram para a de blocos cerâmicos estruturais, 3 optaram pela tipologia que propõe um projeto de habitação com estrutura de pórticos de eucalipto roliço e vedações em diferentes materiais e 1 família optou pela produção de solo-cimento estrutural aparente, restando apenas 1 família na opção em adobe estrutural.

Para a presente pesquisa, dentre as tipologias com mesmo projeto arquitetônico criadas para o Sepé Tiaraju, foram escolhidas a de adobe e a de bloco cerâmico estrutural de 3 quartos com varanda para serem submetidas a uma avaliação de desempenho térmico. Estas duas tipologias possuem exemplares únicos no assentamento. A tipologia de 2 quartos com material cerâmico não será avaliada por possuir medidas e disposição dos ambientes com desenho diferenciado, não passível de ser comparada a de adobe.

As duas unidades escolhidas se encontram em fase de construção no assentamento Sepé Tiaraju, possuem as mesmas dimensões e disposições de

ambientes, entretanto, diferem quanto ao material construtivo de vedação, adobe e bloco cerâmico estrutural, e à implantação em relação ao Norte Geográfico.

A figura 22 apresenta a planta mobiliada das tipologias representativas com destaque para o ambiente escolhido, a sala/cozinha. Este ambiente foi escolhido para ser avaliado quanto ao desempenho térmico por ser o local de maior permanência das famílias segundo informações e observações feitas nas idas ao assentamento para a assessoria técnica.

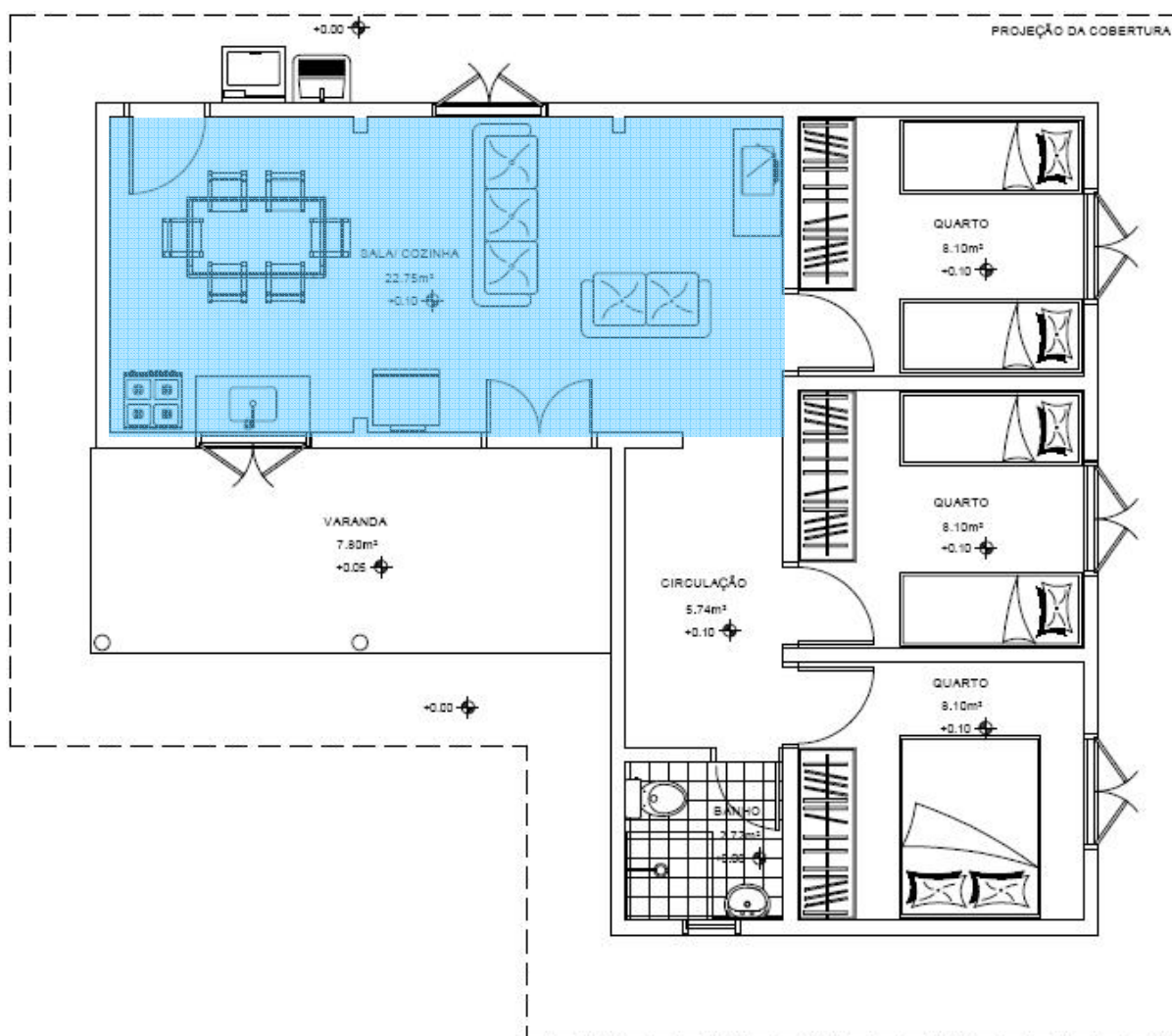


Figura 22: Planta arquitetônica das tipologias habitacionais do assentamento Sepé Tiaraju escolhidas para avaliação de desempenho térmico. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

As tipologias habitacionais foram denominadas como Caso 01 e Caso 02. O Caso 01 corresponde à casa de adobe estrutural e o Caso 02 à casa de bloco

cerâmico estrutural de 3 quartos com varanda. Ambas estão em fase construtiva em sistema de mutirão, entretanto, cada uma se encontra em uma etapa diferente.

A casa de adobe está com a fundação em pedra concluída e no momento se encontra em fase de produção dos adobes.



Figura 23: Imagens da produção de adobe da tipologia habitacional do Caso 1. Fonte: Grupo HABIS, 2008.

Já a casa de blocos cerâmicos estruturais está na etapa de acabamentos, instalações elétricas e fixação de esquadrias, como se pode observar na figuras 24.



Figura 24: Imagens da casa de bloco cerâmico estrutural. Fonte: Grupo HABIS, 2008.

As implantações são diferenciadas, mas nos dois Casos o compartimento escolhido, a sala/cozinha, tem duas faces orientadas para o quadrante Oeste (Sudoeste ou Noroeste). Infelizmente não houve dentre as implantações das unidades habitacionais do Sepé de mesmo desenho outra opção equivalente à orientação da casa de adobe. Na verdade, existe somente um exemplar do projeto de 3 quartos com varanda construído com blocos cerâmicos estruturais. Esta casa fazia parte do grupo das que seriam construídas em adobe, mas teve seu sistema construtivo trocado em virtude de problemas com a construção e à urgência pela moradia, por se tratar de uma família numerosa. Em suma, estas unidades escolhidas são tipologias habitacionais de representação única por possuírem mesmo projeto arquitetônico e sistemas construtivos diferenciados.

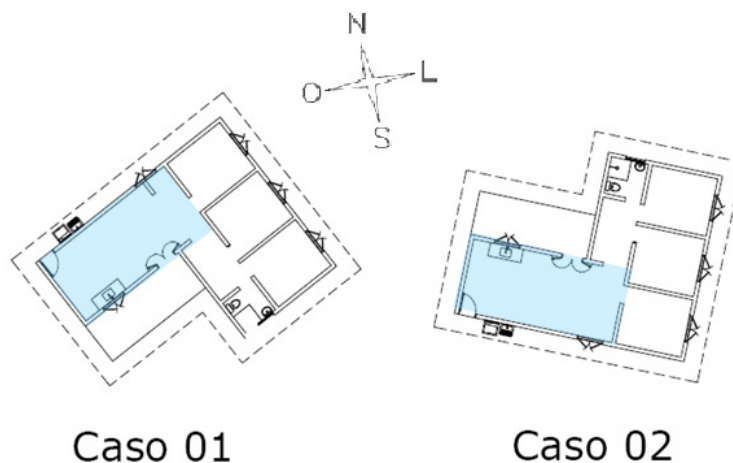


Figura 25: Implantação das unidades habitacionais escolhidas para avaliação de desempenho térmico. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

E a localização dos lotes no assentamento onde estão inseridas as unidades habitacionais escolhidas pode ser observada na figura 26. As habitações se encontram em lotes aproximados geograficamente, fazem parte do mesmo núcleo, o Paulo Freire, e pertencem a famílias de fácil acesso para obtenção de dados para análise da pesquisa.

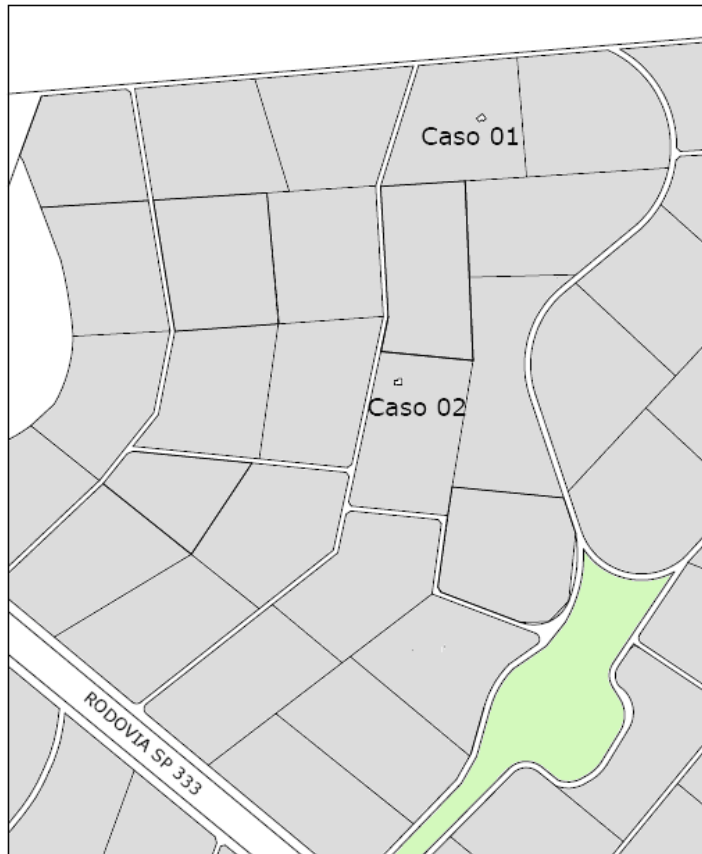


Figura 26: Recorte do projeto de implantação mostrando os Casos selecionados para avaliação de desempenho térmico. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

3.5 Identificação de potencialidades de variáveis adotadas para melhoria da qualidade das habitações

Na etapa de definição das tipologias habitacionais, por mais que o grupo HABIS quisesse orientar a discussão sobre o projeto arquitetônico priorizando apenas seus sonhos, expectativas e necessidades sem a preocupação com valores de financiamento, dimensões ou material construtivo, as perguntas detalhistas sobre parede, laje, material foram a maioria das questões que apareceram nas primeiras conversas com as famílias. Discussão para a qual o HABIS não tinha ainda um levantamento. A noção das vantagens do trabalho coletivo as famílias já possuíam, mas a sua necessidade para viabilizar o menor tempo possível de projeto e produção das casas ainda precisava ser bastante trabalhada.

Nesta fase era importante que as famílias entendessem o porquê de se discutir o projeto arquitetônico em conjunto. Os assessores poderiam ter chegado com plantas prontas, o que teria sido mais rápido e menos trabalhoso. Entretanto, seria as famílias que iriam morar naquelas casas e o jeito de cada uma morar é diferente do de outra e isso teria que ser respeitado. Os assessores tinham muito que contribuir dando sugestões sobre questões técnicas ou de como organizar os ambientes internos, por exemplo, mas sempre priorizando as decisões tomadas pelas famílias. O desafio colocado era traduzir as idéias e os sentimentos das pessoas em um desenho e uma definição concreta de moradia.

Observou-se ainda pelas falas das pessoas que existiam pontos de referência diferentes sobre o que consideravam como essencial para se ter uma moradia digna. O acúmulo de repertório sobre plantas arquitetônicas também era distinto. Ficando então como possibilidade de reflexão em que medida os assessores podem influenciar a decisão sobre o desenho, trazendo seus repertórios e experiências.

A respeito dos materiais construtivos, transpareceram alguns conflitos entre assessores e famílias por que o HABIS enfatizava a possibilidade de utilizar materiais com fonte de recursos, preferencialmente, renováveis (pensando-se na dimensão ambiental) e de gerar trabalho e renda durante a produção de habitação (questão social e econômica). No entanto, inicialmente, muitas famílias não consideravam esses aspectos tão importantes, tendo em vista suas necessidades imediatas de construção das casas.

O fato da maioria das famílias optarem pelo tijolo convencional cerâmico, fez com que a escolha da técnica construtiva fosse controversa aos ideais de agroecologia defendidos por elas nas reuniões. O desejo deles era ter uma casa convencional com acessórios ecológicos (fossa, água, energia), por que desta maneira essas técnicas poderiam ser anexadas depois e, portanto, não impediriam o início imediato da obra. A urgência pelo início da obra fez com que a maioria das famílias não estivesse propensa a discutir sobre sustentabilidade e escolhessem técnicas tidas por elas como “mais seguras” por serem de materiais convencionais (possibilidade de se encontrar na maioria das lojas de materiais para construção, por serem técnicas mais conhecidas ou por ter mais mão-de-obra especializada).

A pesquisa sobre materiais ambientalmente adequados, que apresentem baixo custo, que possam ser produzidos no local e, ainda, ser passível de uma produção para comercialização, gerando trabalho e renda, é de grande importância para a busca de soluções técnicas para habitação social, a fim de se atender um número maior de famílias com um custo menor e de se contemplar os princípios sobre construções sustentáveis. Entretanto, enquanto diretrizes, são perfeitamente plausíveis, tendo em vista a idéia de se integrar a produção da habitação com atividades de geração de trabalho e renda e com aspectos sócio-ambientais, mas quando são discutidas enquanto práticas, muitos entraves e questionamentos são colocados por aqueles que irão se beneficiar dos resultados da pesquisa.

Com relação à fase de implantação das habitações nos lotes, percebeu-se que apesar dos estudos técnicos feitos do diagnóstico climático da área por profissionais habilitados que possibilitou gerar diretrizes projetuais como ferramentas para orientação das casas nos lotes, a participação das famílias no processo foi de grande importância e enriqueceu o trabalho do HABIS. Pelas famílias estarem acampadas na área há 4 anos e meio, estas conheciam bem as características climáticas do terreno, sabiam de onde vinham os ventos mais incômodos dos períodos mais frios ou da incidência da radiação solar mais intensa dos períodos mais quentes, tinham preferências de orientação de suas casas privilegiando as vistas naturais do entorno por que sonhavam tanto com a concepção do projeto arquitetônico de suas casas, como pela orientação da implantação delas no lote. Sendo assim, a participação das famílias em todas as etapas permitiu maior satisfação dos envolvidos e grande probabilidade de sucesso dos resultados esperados.

Diante do relato e análise feita da fase de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação das unidades habitacionais do assentamento Sepé Tiaraju com a participação das famílias em todas as etapas decisórias, tornou-se possível identificar algumas variáveis resultantes desse processo passíveis de serem analisadas e/ou aplicadas em outros projetos de construções de moradias rurais no Brasil. Sabe-se que cada projeto tem suas especificidades regionais, mas em geral, estes poderiam levar em consideração alguns pontos importantes analisados por esta pesquisa, são eles:

- A participação dos assentados em todas as etapas decisórias do processo de construção de suas casas permite com que haja um aumento de chances de acerto nas decisões, de sucesso nos resultados, possibilitando o compartilhamento e a co-responsabilidade.

- É importante efetivar um diálogo entre famílias e assessores sobre a questão tecnológica que permeia a produção de habitação, contemplando-se diversos aspectos: custos financeiros e custos sociais de produção de materiais (trabalho necessário), aspectos ambientais inerentes a essa produção e desejos das famílias em relação a suas casas (dimensão simbólica).

- A escolha do material construtivo deve levar em consideração tempo, facilidade e praticidade de execução de obra, uma vez que os assentados precisam conciliar a construção das casas em sistema de mutirão com o trabalho de cultivo nos lotes.

- A escolha por sistemas construtivos com inovação no desenho e emprego de tecnologias alternativas mais sustentáveis, como o uso de materiais locais e renováveis, permite com que haja economia nos custos para construção das casas resultando num aumento da área de construção, muitas vezes limitada pelos valores baixos de financiamentos aliados à escolha equivocada de sistemas construtivos.

- Apesar de no meio rural haver uma área maior de lote concedida aos beneficiários de programas do governo em assentamentos se comparado ao meio urbano, e com isso maior espaço e liberdade para orientação de implantação das unidades habitacionais, a relação da edificação com o lote ao qual será implantada deve estar sempre presente nas discussões sobre o projeto arquitetônico das casas considerando os condicionantes e/ou variáveis climáticas inerentes ao local, a fim de torná-la termicamente mais confortável aumentando o grau de satisfação de seu usuário.

CAPÍTULO 4

4. VERIFICAÇÃO DE ENQUADRAMENTO DAS UNIDADES HABITACIONAIS SELECIONADAS NA NBR 15220-3

Este capítulo apresenta a norma brasileira de desempenho térmico aprovada em 2005 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). O objetivo desta etapa é verificar o enquadramento das unidades habitacionais do Sepé Tiaraju selecionadas para avaliação de desempenho térmico na NBR 15220-3, que estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social baseadas num zoneamento bioclimático.

4.1 A norma brasileira de desempenho térmico de edificações

A elaboração do projeto arquitetônico de habitações no meio rural, que conta com a participação dos próprios moradores e de técnicos habilitados, pressupõe num produto de maior qualidade. Em casos como este, espera-se considerar aspectos inerentes à técnica de se construir em mutirão, bem como atender às expectativas das famílias pelo sonho da casa digna, ainda que com valores limitados de financiamento, e, sobretudo, adequar a construção às condições climáticas locais a fim de torná-la termicamente confortável.

Segundo Roriz (1990),

[...] os edifícios, enquanto abrigo para as atividades humanas, exercem um papel semelhante ao das roupas. Assim como os povos se vestem de maneira distinta para cada tipo de trabalho e em cada tipo de clima, também um edifício projetado para uma região quente e úmida deverá, necessariamente, ser muito diferente de outro que se localize em clima quente e seco.

Quando se pensa em desempenho térmico de edificações, a escolha do partido arquitetônico e do sistema construtivo a serem adotados envolve um complexo conjunto de fenômenos. Sua compreensão implica no estudo dos processos de sensações térmicas do usuário, na análise do clima local e de suas variáveis, no conhecimento sobre os mecanismos de transmissão de calor e, finalmente, na capacidade de avaliar corretamente o desempenho térmico dos materiais e dos sistemas construtivos.

Um projeto tecnicamente correto, no qual todas estas variáveis sejam consideradas, poderá reduzir substancialmente o consumo de energia elétrica para climatização, otimizar o conforto ambiental térmico e lumínico, além de evitar determinadas patologias muito recorrentes em componentes construtivos como, por exemplo, as fissuras provocadas por excessiva movimentação de origem térmica.

Entretanto, os modelos matemáticos desse conjunto de fenômenos são também, por decorrência, extremamente complexos e exigem, para sua aplicação, o nível de especialistas. São compreensíveis, portanto, as dificuldades encontradas pelos projetistas de edifícios para equacionar tais problemas. Pela própria natureza de seu trabalho são obrigados a dominar, de modo abrangente, inúmeros outros aspectos dos sistemas construtivos, tão importantes e tão complexos quanto a climatização, não podendo se especializar em apenas um deles.

Sendo assim, diante de tal realidade, torna-se importante destacar a aprovação de uma norma brasileira, a NBR 15220 (ABNT, 2005b), em vigor desde maio de 2005, que apresenta um método simplificado de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, contém as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A NBR 15220-2/2005 estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações e foi usada para o cálculo da transmitância térmica de todos os componentes do ambiente sala/cozinha das tipologias do Sepé Tiaraju. O memorial de cálculos se encontra nos apêndices A, B, C, D, E e F ao final do documento.

A NBR 15220-3/2005 apresenta um método que consiste de recomendações de limites para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, além da proposição de estratégias bioclimáticas, todos variáveis conforme a zona bioclimática em estudo. É um método simplificado, pois depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente.

A parte 3 faz referência a todo território nacional dividindo-o em oito zonas distintas, ela apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. As diretrizes construtivas para cada zona bioclimática variam de acordo com as seguintes variáveis:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada);
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

De acordo com a norma, a cidade de Ribeirão Preto/SP, município de referência, assim como no capítulo do diagnóstico climático local, se localiza na Zona Bioclimática 4 com estratégias BCDFI, sigla que indica a utilização das seguintes estratégias de condicionamento passivo:

B – A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.

C - A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

D – Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).

F – As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

I - Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao

exterior durante a noite quando as temperaturas externas diminuem. A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também se deve atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

As diretrizes construtivas apresentadas acima para a zona bioclimática 4 serão analisadas para verificar se as habitações avaliadas nesta pesquisa possuem tais características que favoreçam o desempenho térmico das edificações.

4.2 Verificação de enquadramento das unidades habitacionais na NBR 15220-3 - Zona Bioclimática 4

Na zona bioclimática 4 (ver figuras 48 e 49) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4.

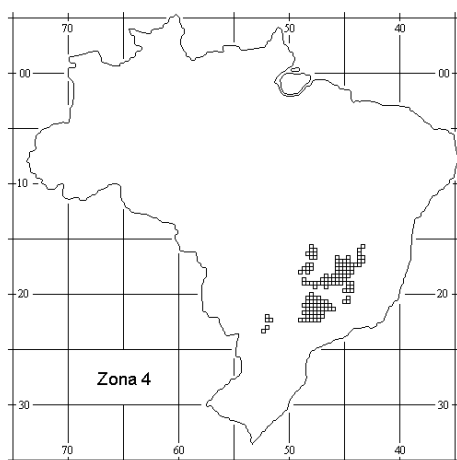


Figura 27: Zona Bioclimática 4. Fonte: NBR 15220-3/2005.

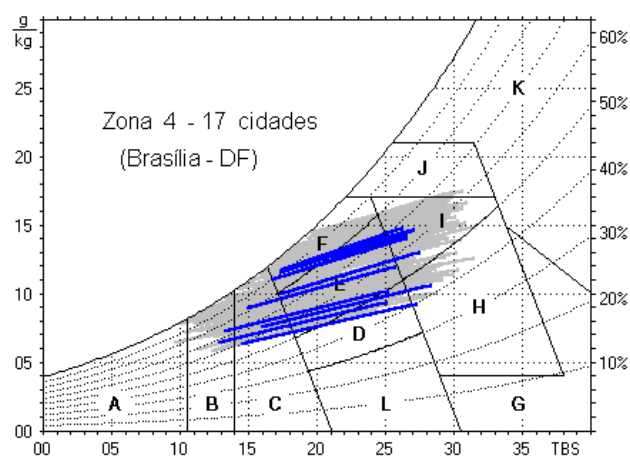


Figura 28: Carta Bioclimática apresentando as normais de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF. Fonte: NBR 15220-3/2005.

Tabela 2: Diretrizes para aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4. Fonte: NBR 15220-3/2005.

| Aberturas para ventilação A (em % da área de piso) | Sombreamento das aberturas |
|---|----------------------------|
| Médias: $15\% < A < 25\%$ | Sombrear aberturas |

A tabela 2 apresenta as diretrizes para as aberturas quanto à ventilação e sombreamento. De acordo com a tabela, a área das aberturas deve ter de 15 a 25% da área do piso. No compartimento sala/cozinha das tipologias habitacionais analisadas, existem 2 janelas de área 1,35 m², que correspondem à 2,71 m², e ainda, como as janelas são de abrir, possuem 100% de sua capacidade para ventilação, totalizando os 2,71 m² de área para ventilação, o que resulta em 11,65% da área do piso que possui 23,26 m². Neste caso, os Casos 1 e 2 não estão de acordo com a Norma, sendo necessário aumentar a área para ventilação, uma alternativa é potencializar esta estratégia de condicionamento térmico passivo através da abertura das portas do ambiente, assim como indicado na estratégia I.

Quanto ao sombreamento das aberturas, os ambientes analisados possuem beirais de 90 cm em uma das fachadas com abertura e varanda na fachada oposta à ela, também com abertura, para propiciar a ventilação natural cruzada nos períodos quentes do ano.

Tabela 3: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas para a Zona Bioclimática 4. Fonte: NBR 15220-3/2005.

| Vedações externas | Transmitância térmica - U | Atraso Térmico - ϕ | Fator de calor Solar - FS _o |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|--|
| | W/m ² .K | Horas | % |
| Parede: Pesada | $U \leq 2,20$ | $\phi \geq 6,5$ | FCS $\leq 3,5$ |
| Cobertura: Leve Isolada | $U \leq 2,00$ | $\phi \leq 3,3$ | FCS $\leq 6,5$ |

A tabela 3 apresenta as características ideais para a transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar das vedações externas admissíveis para a Zona Bioclimática 4.

A parede usada para alvenaria estrutural no ambiente analisado do Caso 1 é composta por adobe (tijolo de terra crua) de 14 cm de espessura com revestimento interno e externo de 2 cm do mesmo material, e apresenta uma transmitância térmica de 2,92 W/m².K (Apêndice B). Neste caso, o material construtivo aplicado não apresenta resultado satisfatório, mas se aproxima da diretriz construtiva estabelecida pela norma analisada. Já para o Caso 2, em que a parede é composta por bloco cerâmico estrutural, também com 14 cm de espessura, mas sem

revestimentos, a transmitância térmica é de 2,10 W/m².K (Apêndice A) e, portanto, se enquadra no valor especificado pela norma.

Quanto à cobertura projetada para os dois casos analisados, composta por telha cerâmica tipo romana, câmara de ar não ventilada e forro de madeira de pinus acompanhando a inclinação do telhado, a transmitância térmica é de 1,86 W/m².K (Apêndice F), para fluxo descendente, ou seja, para ganhos de calor. Sendo assim, como a norma indica que para a Zona Bioclimática 4 a cobertura deve ter valores \leq 2,00 W/m².K para transmitância térmica com retardamento de 3,3 horas, os Casos 01 e 02 se enquadram na norma.

Tabela 4: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4. Fonte: NBR 15220-3/2005.

| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
|---------|---|
| Verão | H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa) |
| Inverno | B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) |

A tabela 4 apresenta as estratégias para condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4 para os períodos de verão e inverno.

Quanto à verificação de enquadramento das estratégias de condicionamento térmico passivo apresentadas na tabela 4, os ambientes analisados apresentam aprovação segundo a norma, com a utilização de ventilação seletiva, podendo ela ser unilateral para o caso de uma janela estar aberta ou cruzada se as duas estiverem abertas, uma vez que estão em faces opostas. Ou ainda, podendo estar as duas hermeticamente fechadas nos períodos de inverno.

Com relação à indicação da estratégia de resfriamento evaporativo, que consiste na transferência de calor para que a água evapore, a área de implantação do assentamento Sepé Tiaraju não possui volume de água significativo, como rios, córregos ou lagos, numa distância aproximada que possibilite explorar este condicionamento térmico de modo passivo.

Já o aquecimento solar é privilegiado no inverno, pois as edificações não possuem obstruções significativas em seus entornos. Entretanto, para o verão seriam necessárias maiores proteções, como recursos vegetativos, por exemplo.

De maneira geral, as escolhas dos sistemas construtivos dos ambientes das habitações selecionadas para avaliação de desempenho térmico e verificação de enquadramento na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) atendem às especificações da norma de maneira parcial.

De acordo com a NBR 15220-3 apenas o adobe não se aproximou do valor ideal para transmitância térmica podendo ser adaptado com o acréscimo de uma camada de revestimento externo mais isolante, como um material de menor condutividade térmica, por exemplo.

No aspecto ventilação, também se verificou parcialidade nos resultados, apesar de haver a possibilidade da ventilação natural cruzada nos ambientes analisados, as mesmas não possuem área de abertura suficiente.

Conclui-se que este método de verificação do enquadramento de edificações às diretrizes e especificações sugeridas pela NBR 15220-3/2005 para zonas bioclimáticas específicas é bastante simplificado, uma vez que não considera a interação entre os sistemas construtivos que compõem um ambiente, nem tão pouco a orientação de implantação da edificação analisada. Entretanto, serve como referência inicial para que arquitetos, engenheiros, projetistas e planejadores tirem proveito das condições naturais do clima e da iluminação, escolhendo mais criteriosamente os materiais e componentes.

CAPÍTULO 5

ESTUDO E APLICAÇÃO DO MÉTODO DO C.S.T.B NAS TIPOLOGIAS HABITACIONAIS DO SÉPÉ TIARAJU

O Capítulo 5 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação de desempenho térmico existentes no Brasil e no Exterior e apresenta a justificativa pela escolha do método do C.S.T.B. para aplicação nesta pesquisa.

O método do C.S.T.B. - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, diferentemente da NBR 15220-3, considera a interação dos subsistemas construtivos na avaliação do desempenho térmico de um ambiente, com a influência direta das variáveis climáticas locais associada às características inerentes da construção, como a diminuição de ganhos de calor solar através de sombreamentos de beirais.

5.1 Revisão bibliográfica sobre métodos de avaliação de desempenho térmico

Quando se pensa no desempenho térmico de uma edificação, deve-se associar a produção de uma arquitetura adequada ao clima em que está inserida, levando-se em consideração as necessidades humanas. Portanto, é importante o conhecimento do clima local (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, pluviosidade e ventos), e a adoção de um partido arquitetônico cujas características sejam adequadas a este clima e às funções do edifício, sendo assim, torna-se necessário que seja efetuada uma avaliação quantitativa do desempenho térmico que o edifício poderá ter.

Existem inúmeros métodos de cálculo de previsão de desempenho térmico, como os de Mahoney¹², de Nessi e Nissole¹³, o do C.S.T.B, dentre outros.

Entretanto, estes podem ser divididos em duas linhas para avaliação do conforto térmico: a primeira estuda a envoltória da edificação e a segunda estuda a correlação entre os ambientes e as sensações térmicas humanas, sendo esta última subjetiva.

Podem-se encontrar as seguintes ferramentas para avaliação de desempenho de ambientes: o método do C.S.T.B. – *Centre Scientifique ET Technique du Bâtiment* – programa de cálculo de insolação, carga térmica; Square one, Andrew

¹² OLGAY, V. – **Design with climate**. New Jersey, Princeton University, 1963.

¹³ KONYA, A. – **Design primer for hot climate**. London, Architectural Press, 1980.

Marsh, Arquitrop (1990) - Conforto térmico e economia de energia nas edificações, sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em Arquitetura e Engenharia Civil; EnegyPlus (2002) - Programa para calcular a energia para aquecer ou resfriar um edifício que se utiliza de uma variedade de sistemas e fontes de energia ao elaborar a simulação do edifício e sistemas de energia associados.

Para as linhas de pesquisas voltadas ao desempenho térmico da edificação, como os trabalhos que desenvolvem diretrizes de projeto, encontram-se: Dreyfus (1960); Olgay (1962); Van Straaten (1967); Givoni (1969); Voght e Miller-Chagas (1970); Croiset (1970); Mahoney (1971); Koenigsberger (1974); Evans (1980); Rivero (1985).

Os estudos de desempenho térmico para ambientes, ou seja, de avaliação da sensação térmica humana de conforto térmico através de métodos são Fanger (1972) e Humphreys (1978) e de norma a ASHRAE 55-1995, dentre outras normas.

Fanger (1972) elaborou o método de desempenho térmico em que apresenta variáveis físicas ou ambientais e também variáveis subjetivas ou pessoais. As variáveis físicas de influência para a obtenção de conforto são: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade e velocidade relativa do ar. Em seus estudos, destaca que não basta considerar o efeito isolado de apenas uma das variáveis envolvidas no processo. Este método possui um programa de simulação de seus cálculos. A norma ISO 7730 (1984), ASHRAE Standard 55-2004 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, considera suas recomendações técnicas, a análise e denominação de PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied – Percentagem de Pessoas Insatisfeitas*) e PMV (*Predicted Mean Vote – Voto Médio Estimado*) de Fanger (1972), que determina graficamente valores de conforto.

Humphreys (1978) analisou as sensações térmicas por meio de estudos, que variavam em países e climas, e propôs uma relação entre as temperaturas preferidas nos ambientes internos com as condições climáticas regionais. Recentemente a norma ASHRAE baseou-se nas pesquisas de Humphreys para estabelecer parâmetros de conforto térmico.

Givoni (1968) partindo de experimentos realizados em Israel e dos estudos de Olgay, estabelece em 1969, um método no qual é possível proporcionar conforto térmico no interior dos edifícios através da redução (maior em climas com altas

amplitudes térmicas) da temperatura interna a valores abaixo dos registrados externamente.¹⁴

Nota-se que diferentes métodos alternativos também podem ser abordados para avaliação térmica de sistemas construtivos. O método das horas de desconforto desenvolvido por Barbosa (1997) para aplicação em habitações de interesse social utiliza a zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento, com intervalo de temperatura de conforto entre 18 °C e 29 °C. O método consiste na verificação da quantidade de horas de desconforto obtidas para um ano inteiro, tanto pelo frio como pelo calor, e apresenta parâmetro de 1.000 horas de desconforto como limite máximo para que uma habitação de interesse social apresente desempenho térmico mínimo.¹⁵

No Brasil, na década de 80, alguns grupos de pesquisa de universidades e institutos de pesquisa começaram a se destacar com atividades voltadas para a melhoria da eficiência energética em edificações, por meio de simulação computacional. No Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) estabeleceram-se o Laboratório de Sistemas Térmicos Passivos (Siterpa) e o Núcleo de Pesquisa em Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar (NRVA). Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) foram criados os grupos de energia solar e de construção (NORIE – Núcleo Orientado à Inovação da Edificação).

No estado de São Paulo, o uso de ferramentas computacionais para análise do desempenho de edificações iniciou-se no Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), na Universidade de São Paulo (USP) e na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). No final da década de 90, outros grupos começaram a apresentar os resultados de suas pesquisas voltadas para a simulação de edificações, como o Laboratório de Sistemas Térmicos (LST) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

A 7ª Conferência da Associação Internacional para a Simulação do Desempenho de Edificações (IBPSA), realizada em agosto de 2001, na cidade do Rio de Janeiro, marcou a consolidação das atividades de simulação de edificações

¹⁴ MORAES, C. M. & ISMAIL, K. A. R. **Discussão conforto térmico em salas de aulas:** métodos conforto x questionários x controlador universal nebuloso: estudo preliminar dos métodos de Humphreys analisado sob a lógica Fuzzy. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 23 a 25 de outubro de 2007.

¹⁵ GIGLIO, T. G. F. & BARBOSA, M. J. **Aplicação de métodos de avaliação de desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira.** ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), Porto Alegre, v. 6, p. 91-103, jul./set. 2006.

no Brasil. Naquela oportunidade, verificou-se que dentre as ferramentas utilizadas, os pesquisadores referenciaram tanto os velhos códigos quanto os programas mais complexos e detalhados desenvolvidos no exterior, como DOE-2, BLAST, ESP-r, RADIANCE, TRNSYS, FLUENT e ENERGYPLUS.

O desenvolvimento de ferramentas nacionais é pouco expressivo, podendo-se citar o UMIDUS, que permite a simulação da transferência de calor e umidade em estruturas porosas de edificações, e o SPTE, utilizado para estimar o desempenho térmico de componentes construtivos através de funções de transferência, programas estes desenvolvidos no Siterpa/UFSC. O mesmo código que originou o UMIDUS vem sendo utilizado no LST/PUCPR para o desenvolvimento de um programa para a simulação higrotérmica e energética de edificações multizonas (DOMUS).

Na UFSCar, o programa ARQUITROP, desenvolvido na década de 80, foi amplamente utilizado por arquitetos e estudantes de arquitetura para analisar a influência de alternativas de projeto no consumo de energia elétrica em edificações.

Durante o congresso realizado no Rio de Janeiro em 2001, foi fundada a IBPSA-Brasil (www.labeee.ufsc.br/ibpsa-brasil), Associação Brasileira para a Simulação do Desempenho de Edificações, afiliada à organização internacional, IBPSA. Com o objetivo de promover o uso de simulação computacional para o projeto de edificações mais eficientes, a Associação já realizou oficinas (*workshops*) reunindo os principais pesquisadores que trabalham com simulação no país.¹⁶

Como visto aqui, muito se fez e ainda se pesquisa na área de desenvolvimento e aplicação de ferramentas de simulações para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações. Os Anais dos ENCACs (Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído), NUTAU (Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo) comprovam a existência de inúmeros estudos neste campo.

Entretanto, observa-se certo distanciamento entre as pesquisas de base teórica e conceitual e a aplicação destes conceitos na realidade da ação projetual. Muitos *softwares* de simulações de desempenho apresentam complexidade de aplicabilidade, restringindo seu uso a um grupo seleto de pesquisadores.

¹⁶ MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA N., J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.**

Fonte: < http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Antac_Doc122144.pdf > Acesso em: março de 2007.

A Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) vêm desenvolvendo programas computacionais de análises e simulações de desempenho com maior facilidade de manuseio, aproximando-os à realidade dos profissionais de arquitetura e engenharia do país, sendo que muitos deles se encontram disponíveis ao acesso gratuito em *sites* de universidades.

Sendo assim, a presente pesquisa estudou a importância de se aplicar o uso de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico como contribuição na elaboração de projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais rurais, tendo como objeto empírico a construção de 77 moradias no assentamento Sepé Tiaraju, em Serra Azul-SP. E não somente como um instrumento de avaliação pós-fato, restrito ao campo teórico de pesquisadores da área, mas sim no ato de projetar, como ferramenta auxiliar, visando a melhoria da qualidade destas habitações.

Nesse sentido, a metodologia escolhida por esta pesquisa contempla a aplicação do método de cálculos do C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique du Batiment* – de Paris), considerado um dos mais aplicáveis, posto que se baseia em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível no que tange às características dos materiais.

5.2 O método do C.S.T.B.

O método do C.S.T.B., apresentado por Croiset¹⁷ e Borel¹⁸, se baseia no regime térmico permanente. Para a avaliação do conforto térmico de inverno, são consideradas apenas as perdas térmicas, posto que a temperatura interna desejável do edifício é superior à temperatura do ar exterior, mesmo em termos de temperatura média. Já para a avaliação do conforto térmico de verão, período escolhido para avaliação por esta pesquisa, faz-se um balanço térmico sobre hipóteses montadas acerca do que sejam os ganhos e perdas e são consideradas trocas por diferença de temperatura e ganhos devido à incidência da radiação solar.

¹⁷ CROISSET, M. *L'hygrothermique dans le bâtiment*. Paris, Eyrolles, 1972.

¹⁸ BOREL, J. *Le confort thermique em climat chaud*. Cours professé à la FAU-USP, São Paulo, 1967, (mimeo).

Para aplicação do método escolhido para análise do comportamento térmico de ambientes das habitações do assentamento rural Sepé Tiaraju, seguiu-se o roteiro criado por Anésia Barros Frota (ver tabela 5), professora e doutora da Universidade de São Paulo, com base em seu livro *Manual de Conforto Térmico*¹⁹. O objetivo principal deste roteiro é facilitar a aplicação do método que visa estudar, por meio do projeto, as questões relativas ao Conforto Térmico, analisando o edifício sob o ponto de vista de insolação, ventilação, comportamento da envoltória e do seu desempenho quanto ao atendimento das exigências humanas.

Tabela 5: Roteiro para análise de desempenho térmico de ambiente

| Roteiro para análise de desempenho térmico de ambiente | | |
|---|---|--|
| Passos | Descrição | Ferramentas / Equações |
| 01 | Levantamento de dados referentes à localização (cidade, latitude, longitude, altitude), à implantação e entorno próximo e aos dados de clima (temperaturas médias, média das máximas e das máximas absolutas, média das mínimas e das mínimas absolutas; umidade relativa). | - Plantas e cortes da edificação; - Consulta aos dados do clima local. (FROTA & SCHIFFER, 2000, Anexo 22) |
| 02 | Análise qualitativa do edifício como um todo, do ponto de vista da insolação geral (considerando as obstruções/máscaras), do problema acústico (fontes externas) e da utilização dos diversos compartimentos. | - Plantas, cortes e elevações da edificação; |
| 03 | Escolha, segundo critérios qualitativos, do compartimento crítico (ou de alguns), para aplicação dos métodos de previsão de desempenho térmico. | - Plantas, cortes e elevações do(s) compartimento(s) crítico(s). |
| 04 | Estudos geométricos de máscara/insolação, nesta etapa, especificamente do(s) compartimento(s) escolhido(s). | - Máscaras de insolação e cartas solares. |

¹⁹ FROTA, Anésia, SCHIFFER, Sueli. **Manual do Conforto Térmico**. 4. ed. - São Paulo: Studio Nobel, 2000.

| | | |
|----|---|---|
| 05 | Ajustamento prévio dos dados de radiação solar incidente global – I_g , utilizando os estudos de insolação específicos (radiação solar incidente global é igual a somatória das radiações direta e difusa). | $I_g = I_D + I_d$ (W/m ²) |
| 06 | Levantamento de áreas dos diversos elementos da envoltória do(s) compartimento(s) escolhido(s), em função da variedade de materiais aplicados, espessuras (e, em metro), considerando inclusive a cor externa. | - Plantas, cortes e elevações do(s) compartimento(s) crítico(s) |
| 07 | Caracterização térmica desses materiais da envoltória – condutividade térmica do material (W/(m.K)); resistências térmicas superficiais ($1/h_e + 1/h_i$), para vedações verticais e horizontais (fluxo ascendente, para ganhos de calor solar, e fluxo descendente, para perdas de calor); absorvância da radiação solar em função da cor externa. | - ABNT NBR 15220-2 (2005). |
| 08 | Determinação da transmitância térmica, U (W/(m ² .K)) para vedações opacas (ganhos e perdas de calor), para vedações transparentes ou translúcidas (perdas de calor) e do Fator Solar, S_{tr} , para vedações transparentes ou translúcidas (ganhos de calor). | - Desenhos ilustrativos de detalhes construtivos de paredes e coberturas; - ABNT NBR 15220-2 (2005); - $1/U = 1/h_e + 1/h_i + e/\lambda$ |
| 09 | Cálculo dos ganhos de calor solar através dos elementos da envoltória, deixando em função de I_g , única variável quando áreas, materiais, espessuras, cores externas e orientações estão definidas. | - Para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot U \cdot 1/h_e \cdot I_g$ (W) - Para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot FS_t \cdot I_g$ (W) |
| 10 | Cálculo dos ganhos de calor solar. | - Consulta aos dados de radiação solar incidente sobre |

| | | |
|----|--|---|
| | | planos horizontais e verticais para diferentes latitudes. (FROTA & SCHIFFER, 2000, Anexo 17) |
| 11 | <p>Cálculo dos ganhos de calor gerado internamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pessoas, conforme o número presente no recinto e a atividade (calor sensível); - iluminação artificial, caso a atividade exija ou a iluminação natural não seja suficiente no período de maior ganho de calor solar (para as lâmpadas incandescentes, conforme potência e quantidade, e para lâmpadas fluorescentes, conforme potência e quantidade + 25%, para reatores convencionais ou para eletrônicos + 10%); - equipamentos elétricos (60% da potência nominal e aplicando fator de uso, para o caso de não ter a função específica de aquecer). | <ul style="list-style-type: none"> - Consultar dados de calor cedido ao ambiente (W), segundo atividade desenvolvida pelo indivíduo. (FROTA & SCHIFFER, 2000, Anexo 1) - Consultar dados de potências aproximadas de aparelhos eletrodomésticos. (FROTA & SCHIFFER, 2000, Anexo 15) |
| 12 | <p>Cálculo das perdas de calor através da envoltória e pela ventilação (considerar uma taxa razoável de renovação horária do ar no recinto), deixando em função de Δt (°C).</p> | <p>$Q' = A_{(op, tr)} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.</p> <p>$Q'_{vent.} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devido à ventilação.</p> |
| 13 | <p>Balanco térmico: total de ganhos = total de perdas (quando se obtém Δt, ainda sem considerar o efeito da inércia térmica).</p> | <p>$Q = Q'$</p> |
| 14 | <p>Avaliação da inércia térmica.</p> | <p>Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada – que é igual à somatória das áreas das</p> |

| | | |
|----|---|---|
| | | <p>superfícies de cada uma das paredes internas, inclusive piso e teto ($e/2 \times d \times 1$ (kg/m^2)), multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos – em relação à área do piso do local.</p> |
| 15 | <p>Cálculo da temperatura interna máxima, $t_{\text{imáx}}$ calculada a partir dos dados de temperatura (clima) – temperatura externa média calculada conforme método, assim com a alongação, E, aplicando o coeficiente de inércia térmica e o Δt já determinado.</p> | <p>$T_{\text{emáx}} = (\text{média mensal das temperaturas máximas diárias} + \text{temperatura máxima observada no mês})/2$ ($^{\circ}\text{C}$)</p> <p>$T_{\text{emin}} = (\text{média mensal das temperaturas mínimas diárias} + \text{temperatura máxima observada no mês})/2$ ($^{\circ}\text{C}$)</p> <p>$t_e = (T_{\text{emáx}} + T_{\text{emin}})/2$</p> <p>$A' = T_{\text{emáx}} - T_{\text{emin}}$</p> <p>$E = A'/2$</p> <p>$t_{i \text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$</p> |
| 16 | <p>Avaliação das condições térmicas ambientais (índice de Temperatura Efetiva – TE), a partir de TBS (Temperatura de Bulbo Seco) e TBU (Temperatura de Bulbo Úmido).</p> | <p>- Aplicação da Carta Psicrométrica para obtenção da Temperatura de Bulbo Úmido, a partir dos dados de TBS e UR (Umidade Relativa do Ar) (FROTA & SCHIFFER, 2000, Anexo 5);</p> <p>- Aplicação do Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas e em trabalho leve (FROTA &</p> |

| | | |
|----|---|---|
| | | SCHIFFER, 2000, Anexo 3). |
| 17 | Verificação do funcionamento do sistema de ventilação natural, por efeito chaminé, considerando as áreas de aberturas, a taxa de renovação de ar adotada e o Δt obtido no balanço térmico (considerar a inércia). | <p>- Detalhar as aberturas – janelas, elementos vazados, entre outros tipos de aberturas.</p> <p>$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m)$</p> <p>$A_e = \text{área de ventilação}/2$</p> <p>$A_s = A_e$</p> <p>$H = \text{altura média da área de abertura}$</p> <p>$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$</p> |
| 18 | Revisão das perdas de calor pela ventilação e do balanço térmico, se necessário. | $N = \Phi_c/V$ |
| 19 | Caso as condições não atendam às necessidades de conforto térmico, propor, utilizando os cálculos já desenvolvidos, alterações para obter o desempenho requerido. | - Memorial de cálculos já desenvolvidos. |
| 20 | A todo o momento, considerar as interfaces com iluminação e com acústica, para evitar contradições e inviabilidades, exemplo: abrir para ventilar e fechar para isolar o ruído. | - Plantas, cortes e elevações; |
| 21 | Compatibilização térmica/lumínica/acústica – decisões de projeto – racionalização do uso de energia na edificação. | - Plantas, cortes e elevações; |

Fonte: Adaptação do roteiro criado por Anésia Barros Frota baseado em seu livro “Manual de Conforto Térmico” (FROTA & SCHIFFER, 2000).

*Ver Lista de Símbolos (página viii) para consultar o significado das variáveis e suas unidades de medida.

5.3 Aplicação do método do C.S.T.B. para o período típico (dezembro – verão)

A partir do roteiro para análise de conforto térmico apresentado na tabela 5 tem-se a aplicação do método do C.S.T.B. em sua etapa de cálculos, respeitando todas as considerações feitas e oferecendo resposta aos parâmetros de conforto térmico elencados.

Levantamento de dados para aplicação do método do C.S.T.B.

Dados do local de implantação

- Localização: município de Serra Azul – SP
- Latitude: 21°13' e 21°15' e Longitude: 47°30' e 47°34'

Dados de clima (dezembro)

Tabela 6: Dados relativos: Ribeirão Preto/SP, latitude 21°11' e longitude 47°48'. Fonte: FROTA & SCHIFFER (2000, pág. 232)

| Média aritmética mensal da temperatura em °C | Média mensal das temperaturas máximas diárias em °C | Média mensal das temperaturas mínimas diárias em °C | Temperatura máxima observada no mês (média) em °C | Temperatura mínima observada no mês (média) em °C | Média aritmética mensal da umidade relativa em % | Total mensal da chuva caída (precipitação) em mm |
|--|---|---|---|---|--|--|
| 23,2 | 29,6 | 18,00 | 33,2 | 14,5 | 76 | 271 |

Compartimento escolhido – sala/cozinha

Para efeito comparativo de avaliação de desempenho térmico foi escolhido o ambiente denominado como sala/cozinha (ver figura 50), de mesmo uso e características espaciais nos dois projetos analisados.

Em relação aos materiais construtivos, para as duas tipologias foram adotados dados reais dos objetos empíricos, os próprios materiais escolhidos pelos moradores na etapa de elaboração de projeto arquitetônico, conforme apresentado no capítulo 3. Para a cobertura considerou-se ser de sistema de painéis pré-

fabricados composto por telha cerâmica tipo romana, forro de pinus e câmara de ar não ventilada de 10 cm. As duas janelas do ambiente são de madeira de eucalipto com vedação em vidro simples de 3 mm em sistema de abrir com 2 folhas. As portas são de madeira, de abrir com 1 folha e com 2 folhas e o piso de cimento queimado polido com 10 cm de espessura. Contudo, apenas o sistema de vedação foi diferenciado, para o Caso 01 foi utilizado o adobe estrutural com revestimento interno e externo de 2 cm cada e argamassa de assentamento do mesmo material e para o Caso 02 o bloco cerâmico estrutural sem revestimento e com argamassa de assentamento de cimento, areia e água.

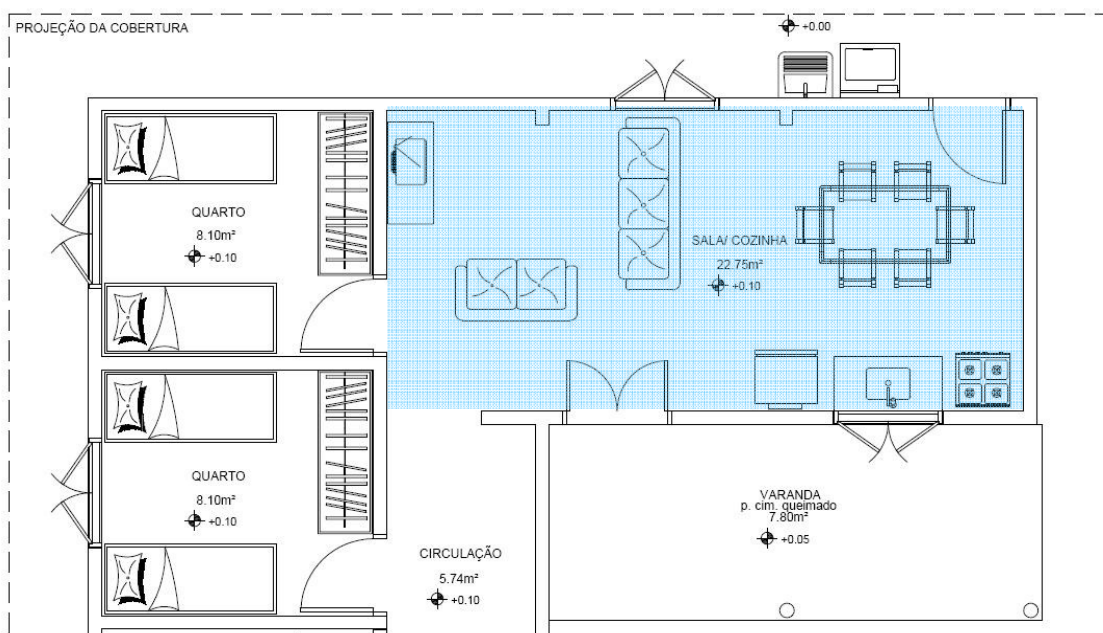


Figura 29: Projeto arquitetônico do ambiente escolhido para avaliação de desempenho térmico. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

5.3.1 Caso 01

Casa de adobe

Estudos geométricos de máscara/insolação

O sol, incidindo sobre os componentes construtivos de um edifício, vai representar, em maior ou menor escala, um ganho de calor. Esse ganho de calor será função da intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais desses componentes.

A radiação solar, como variável climática deve ser medida. Porém, há dificuldades para a obtenção de dados medidos devido à complexidade ocasionada pelo volume de dados obtidos pela análise do “movimento” do Sol e pela conversão destes dados, já que os instrumentos existentes registram dados referentes à incidência sobre o plano normal aos raios e são necessários dados relativos à radiação incidente sobre as fachadas e coberturas dos edifícios (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 123).

A tabela apresentada no Anexo A fornece dados de radiação solar incidente (I_g) sobre planos verticais e horizontais (W/m^2) considerando a latitude de 20° Sul. Esta tabela, assim como as outras existentes para diferentes latitudes, é resultado da associação de dois estudos. O primeiro feito pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de Lisboa) que, fornece dados de intensidade de radiação solar direta e difusa referentes a três condições de céu. E o outro de Hélio Gonçalves (1955), que desenvolveu uma série de tabelas de intensidade de radiação solar direta incidente sobre planos verticais diversamente orientados e plano horizontal, hora a hora, para os solstícios e os equinócios, para as latitudes brasileiras, sob a condição de céu limpo.

Usou-se então, como base referencial, os dados de radiação solar incidente sobre planos horizontais (cobertura) e verticais (fachadas SE, SW e NW) do Caso 01 fornecidos pelo Anexo A, entretanto, foi preciso fazer um ajustamento destes dados em virtude do sombreamento dos beirais e varanda, que ocasionaram na diminuição dos ganhos de calor solar.

Nas figuras 51 e 52 mostraram-se os ângulos de sombreamento da cobertura a partir de um ponto médio perpendicular à normal das três fachadas expostas à incidência da radiação solar.

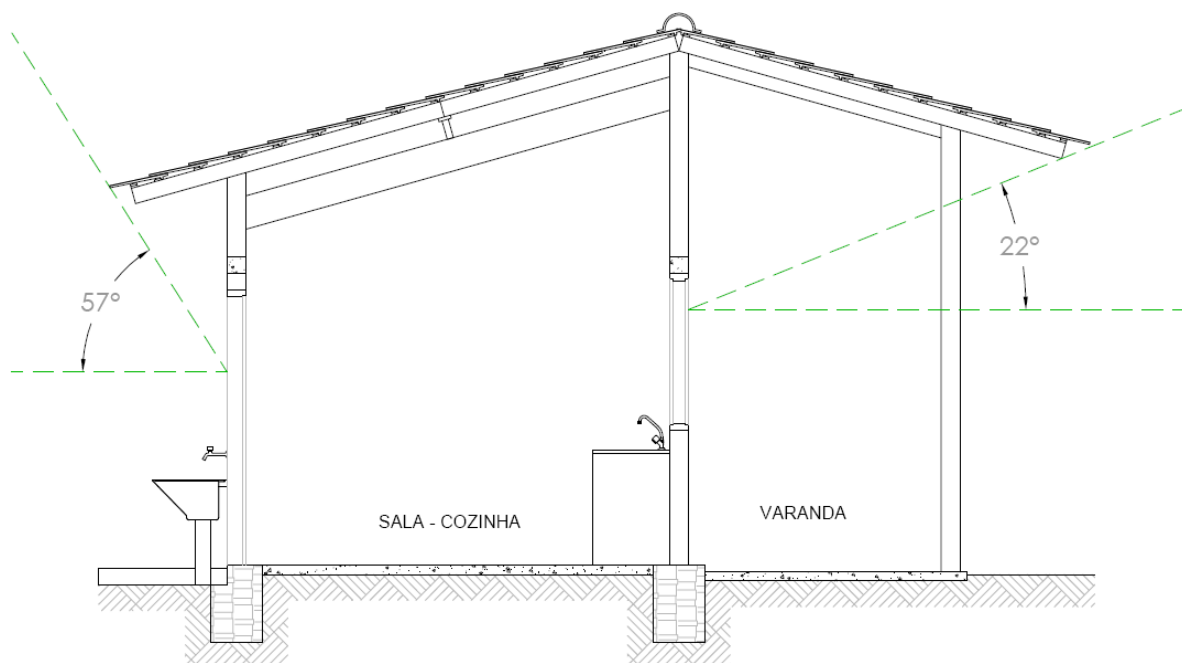


Figura 30: Corte do ambiente escolhido para avaliação de desempenho térmico com os ângulos de obstrução do sombreamento da cobertura e da varanda. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

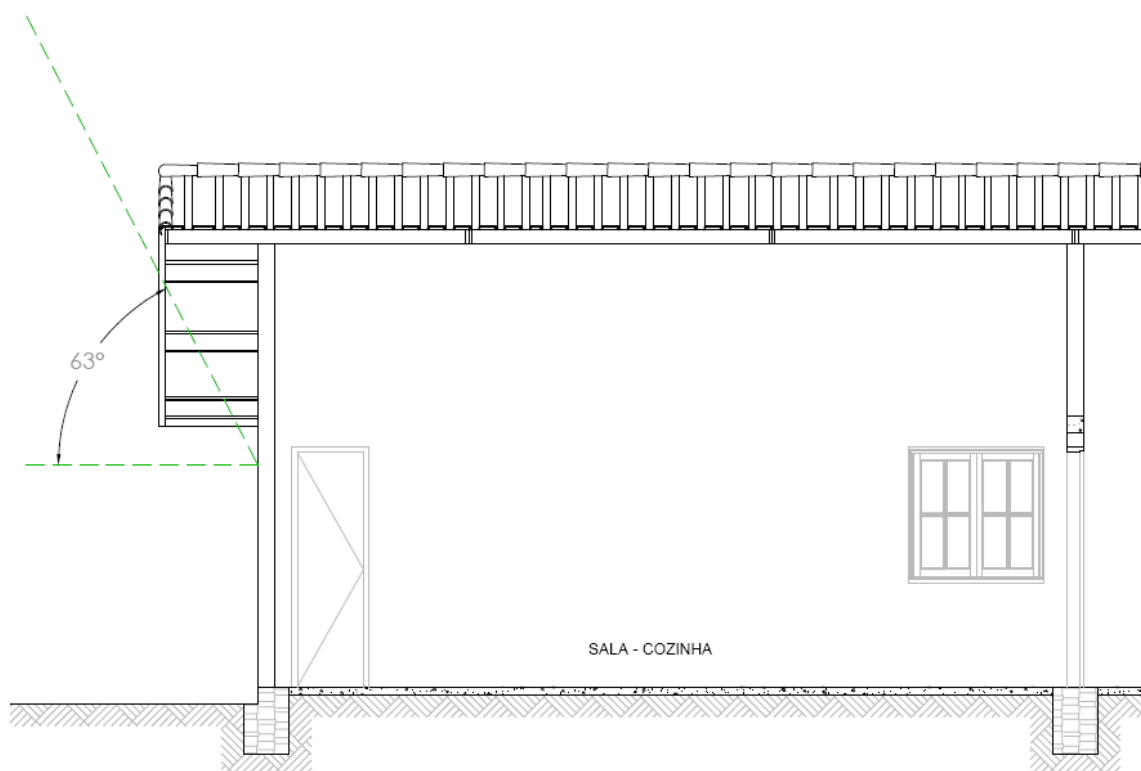
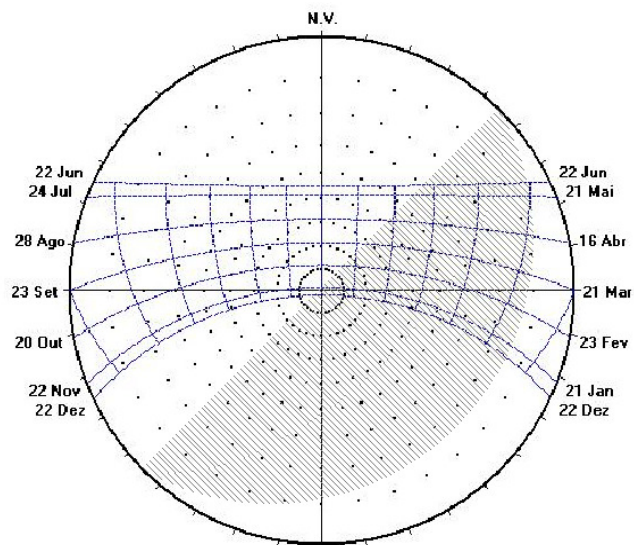


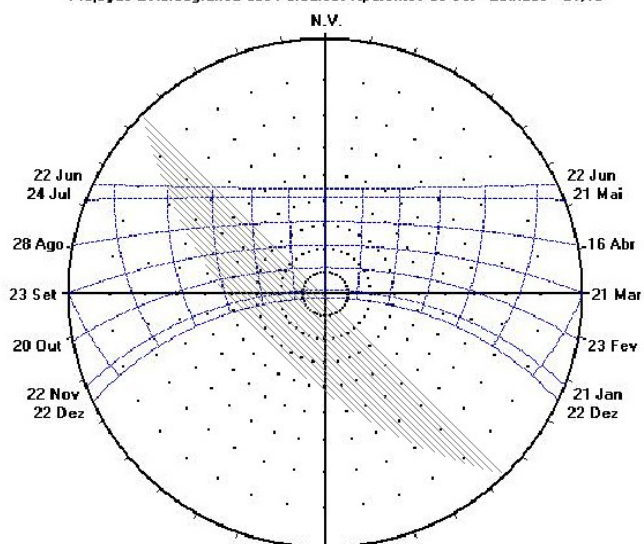
Figura 31: Corte do ambiente escolhido para avaliação de desempenho térmico com o ângulo de obstrução do sombreamento da cobertura. Fonte: Grupo HABIS, 2006.

Já nas figuras 53, 54 e 55 transferiu-se esta medida de ângulos para as cartas solares correspondentes à latitude de $21^{\circ}15'$ através das máscaras com o efeito do sombreamento. Através de transferidores auxiliares é possível medir a porcentagem de céu visível.



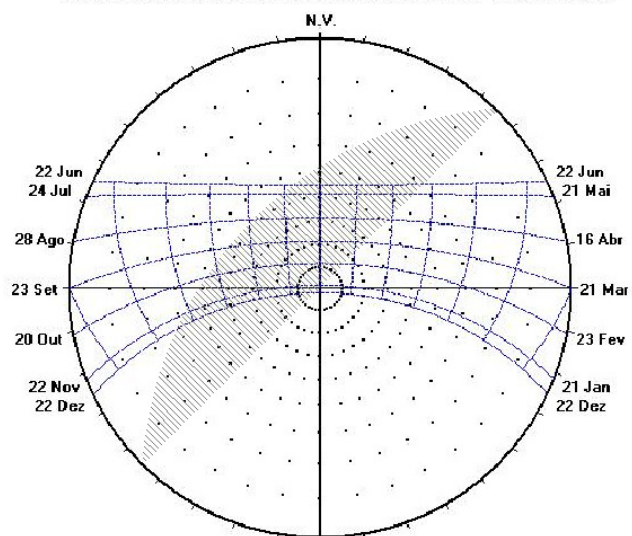
Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21,15

Fachada SE (30% céu visível)



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21,15

Fachada SW (72% céu visível)



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21,15

Fachada NW (64% céu visível)

Figuras 32: Cartas solares para latitude de 21°15' com efeito de sombreamento (% céu visível) das fachadas SE, SW e NW – Caso 01.

Ajustamento prévio dos dados de radiação solar incidente global – I_g

$$I_g = I_D + I_d \text{ (W/m}^2\text{)}$$

A porcentagem de céu visível dada pelo efeito do sombreamento é aplicada sobre os dados de radiação solar difusa para cada plano dado pelo Anexo A, a partir da seguinte relação: I_g (radiação solar incidente global) = I_D (radiação solar direta) + I_d (radiação solar difusa) em W/m^2 , como pode ser observado nas tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

Tabela 7: Cobertura horizontal – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 567 | 801 | 985 | 1105 | 1140 | 1105 | 985 | 801 | 567 | 289 |

Tabela 8: Fachada Sudeste (SE) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 673 | 578 | 446 | 288 | 107 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_D | 623 | 520 | 383 | 220 | 42 | - | - | - | - | - |

Tabela 9: Fachada Sudeste (SE) – com efeito de obstrução (30% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_D | 623 | 520 | 383 | 220 | 42 | - | - | - | - | - |
| I_d | 15 | 17 | 19 | 20 | 19 | 20 | 19 | 17 | 15 | 11 |
| I_g | 638 | 537 | 402 | 240 | 61 | 20 | 19 | 17 | 15 | 11 |

Tabela 10: Fachada Sudoeste (SW) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 50 | 58 | 63 | 68 | 107 | 288 | 446 | 578 | 673 | 547 |
| I_d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_D | - | - | - | - | 42 | 225 | 383 | 520 | 623 | 509 |

Tabela 11: Fachada Sudoeste (SW) – com efeito de obstrução (72% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_D | - | - | - | - | 42 | 225 | 383 | 520 | 623 | 509 |
| I_d | 36 | 42 | 45 | 49 | 47 | 49 | 45 | 42 | 36 | 27 |
| I_g | 36 | 42 | 45 | 49 | 89 | 274 | 428 | 562 | 659 | 536 |

Tabela 12: Fachada Noroeste (NW) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 225 | 344 | 407 | 412 | 299 |
| I_d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_D | - | - | - | - | - | 157 | 281 | 349 | 362 | 261 |

Tabela 13: Fachada Noroeste (NW) – com efeito de obstrução (64% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_D | - | - | - | - | - | 157 | 281 | 349 | 362 | 261 |
| I_d | 32 | 37 | 40 | 44 | 42 | 44 | 40 | 37 | 32 | 24 |
| I_g | 32 | 37 | 40 | 44 | 42 | 201 | 321 | 386 | 394 | 285 |

Dados do edifício e caracterização térmica dos materiais envoltórios

Cálculo da Transmitância térmica – U

O memorial de cálculos da transmitância térmica (U) dos componentes envoltórios do ambiente analisado (Caso 01) se encontra nos Apêndices ao final deste documento.

Tabela 14: Valores da transmitância térmica dos componentes envoltórios – Caso 01.

| Componente | Descrição | Transmitância térmica (U) |
|------------|--|---|
| Cobertura | Telha cerâmica de barro com câmara de ar não ventilada e forro de madeira de pinus | - Para fluxo ascendente: U = 3,84 W/(m².K) - Para fluxo descendente: U = 1,79 W/(m².K) |
| Paredes | Adobe com revestimento interno e externo do mesmo material | U = 2,92 W/(m².K) |
| Janela | Folha em madeira de eucalipto com vedação em vidro comum | U = 5,72 W/(m².K) |
| Porta 01 | Porta de madeira de folha única com câmara de ar não ventilada | U = 2,44 W/(m².K) |
| Porta 02 | Porta de madeira de folha dupla com câmara de ar não ventilada | U = 2,44 W/(m².K) |

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas SW, NW e SE.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot U \cdot R_{se} \cdot I_g$ (W)

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot FS_t \cdot I_g$ (W)

Tabela 15: Cálculo dos ganhos de calor de cada componente – Caso 01.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor | |
|------------------|----------------------|--|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q_1 = 25,20 \cdot (0,80 \cdot 1,79)/20 \cdot I_g$ | Q₁ = 1,80 I_g |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q_2 = 11,60 \cdot (0,70 \cdot 2,92)/20 \cdot I_g$ | Q₂ = 1,18 I_g |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q_3 = 18,20 \cdot (0,70 \cdot 2,92)/20 \cdot I_g$ | Q₃ = 1,86 I_g |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q_4 = 15,28 \cdot (0,70 \cdot 2,92)/20 \cdot I_g$ | Q₄ = 1,56 I_g |
| Janela (vidros) | 0,85 m ² | $Q_5 = 0,85 \cdot 0,86 \cdot I_g$ | Q₅ = 0,73 I_g |
| Janela (madeira) | 0,46 m ² | $Q_6 = 0,46 \cdot (0,70 \cdot 3,29)/20 \cdot I_g$ | Q₆ = 0,05 I_g |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q_7 = 1,48 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | Q₇ = 0,12 I_g |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q_8 = 2,31 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | Q₈ = 0,19 I_g |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

I_g = Intensidade da radiação solar global

A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

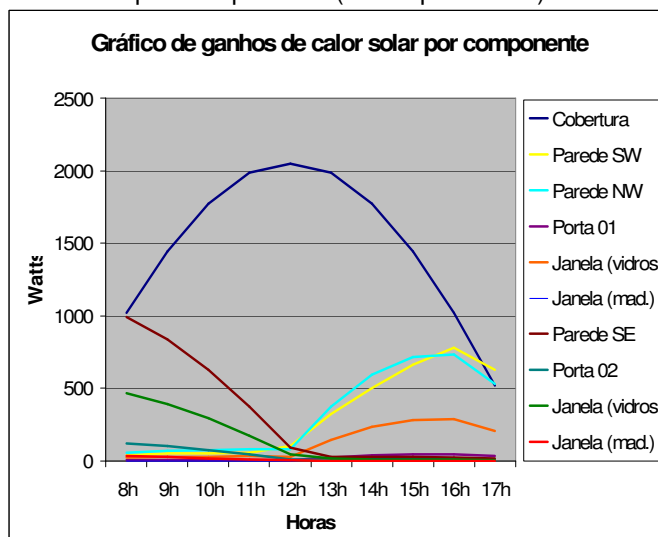
I_g = Intensidade da radiação solar global

Tabela 16: Planilha de ganhos de calor solar – Caso 01 Adobe

| Componentes | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| Cobertura $Q_1=1,80lg (W)$ | 1020 | 1442 | 1773 | 1989 | 2052 | 1989 | 1773 | 1442 | 1020 | 520 |
| Parede SW $Q_2=1,18lg (W)$ | 42 | 50 | 53 | 58 | 105 | 323 | 505 | 663 | 778 | 632 |
| Parede NW $Q_3=1,86lg (W)$ | 59 | 69 | 74 | 82 | 78 | 374 | 597 | 717 | 732 | 530 |
| Porta 01 $Q_7=0,12lg (W)$ | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 39 | 46 | 47 | 34 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 23 | 27 | 29 | 32 | 31 | 147 | 234 | 282 | 288 | 208 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 16 | 19 | 20 | 14 |
| Parede SE $Q_4=1,56lg (W)$ | 995 | 837 | 627 | 374 | 95 | 31 | 30 | 26 | 23 | 17 |
| Porta 02 $Q_8=0,19lg (W)$ | 121 | 102 | 76 | 46 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 466 | 392 | 293 | 175 | 45 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 32 | 27 | 20 | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 2764 | 2952 | 2952 | 2775 | 2428 | 2918 | 3213 | 3211 | 2923 | 1966 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (lg) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Gráfico 1: Ganhos de calor solar por componente (Watts por Horas) – Caso 01 adobe



Ganhos de calor devido à ocupação (calor sensível)

- 4 pessoas sentadas, cosendo à mão – 65 W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 177)

$$Q_e = 4 \times 65 \text{ W}$$

$$Q_e = 260 \text{ W}$$

Ganhos de calor gerados internamente por equipamentos

- 4 lâmpadas fluorescentes de 23w = 92W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

- 1 geladeira = 90W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

- 1 fogão comum = 60 W²⁰

- 1 televisão em cores 20" = 90 W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{\text{lamp}} + Q_{\text{gel}} + Q_{\text{fog}} + Q_{\text{sol}} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 3211 \quad \mathbf{Q_{\text{total}} = 3803 \text{ W}}$$

Perdas de calor devido à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{\text{(op, tr)}} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{\text{vent.}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devido à ventilação.

Tabela 17: Cálculo das perdas de calor por componente – Caso 01.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|--|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77\Delta t$ (W) |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 33,87\Delta t$ (W) |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 53,14\Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 44,61\Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50\Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61\Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63\Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{\text{vent.}} = 139,65\Delta t$ (W), para N = 5 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{\text{total}} = 392,78\Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

Q'_{vent} = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{\text{op, tr}}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3803 = 392,78\Delta t \quad \Delta t = 3803/392,78 \quad \mathbf{\Delta t = 9,7^\circ\text{C}}$$

²⁰ Fonte: <HTTP://www.natureba.com.br/energia-eletrdomesticos.htm> , acessado em julho de 2008.

Para determinação do fator de inércia

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada – que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes internas, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos – em relação à área do piso do local.

Tabela 18: Determinação do fator da inércia térmica do ambiente – Caso 01.

| Para determinação do fator de inércia | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Elementos construtivos da envoltória | Área (m ²) | Peso e/2 x d x 1 (kg/m ²) | Resistência térmica do revestimento (m.K/W) | Coeficiente da resistência térmica do revestimento | Área x Coeficiente da resistência térmica do revestimento (m ²) | Superfície equivalente pesada / área do piso |
| Parede NW | 18,20 | 126* | 0,038 | 2/3 | 12,1 | 2,2 |
| Parede SW | 11,60 | | | | 7,7 | |
| Parede SE | 15,28 | | | | 10,2 | |
| Parede NE | 9,92 | | | | 6,6 | |
| Piso | 23,26 | 110** | 0 | 2/3 | 15,5 | |
| Cobertura (forro + telha) | 25,20 | 14,65*** | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | Superfície equivalente pesada | 52,1 |
| Classificação da inércia térmica (ver Anexo B) | | | | | | Coeficiente de inércia |
| Inércia média | | | | | | m = 0,8 |

Onde:

e = espessura

d = densidade

*Parede: $0,14/2 \times 1800 \times 1 = 126 \text{ kg/m}^2$

**Piso: $0,10 \times 2200 \times 1 = 110 \text{ kg/m}^2$

***Cobertura, considerando o forro de pinus e a telha cerâmica:

Forro: $0,02/2 \times 525 \times 1 = 5,25 \text{ kg/m}^2$

Telha: $0,01/2 \times 1880 \times 1 = 9,4 \text{ kg/m}^2$

Para densidade da parede de adobe consultar:

SIMÕES, Fausto. A qualidade térmica da terra e o desafio da regulamentação energética. Disponível em: <http://www.arquitecologia.org/FS_Qualidade%20termica.pdf>, com acesso em julho de 2009.

Para densidade da telha cerâmica consultar:

BUENO, A.D.; DA CUNHA NETO, J.A.B.; Determinação de propriedades relacionadas à transferência de massa em telhas cerâmicas. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/106-DeterminacaoPropriedadesFisicas.pdf>>, com acesso em julho de 2009.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$T_{em\acute{a}x} = (29,6 + 33,2)/2 = 31,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{em\acute{i}n} = (18,0 + 14,5)/2 = 16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_e = (31,4 + 16,2)/2 = \mathbf{23,8\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$A' = 31,4 - 16,2 = 15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$E = 15,2/2 = \mathbf{7,6\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

*Consultar tabela 6 (página 65)

Onde:

$T_{em\acute{a}x}$ = Temperatura externa média

$T_{em\acute{i}n}$ = Temperatura externa mínima

t_e = Temperatura externa média

A' = Amplitude de temperatura

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i\text{ máx}}$

$$t_{i\text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,8) 7,6 + (1 - 0,8) \cdot 9,7$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + 1,52 + 1,94$$

$$t_{i\text{ máx}} = \mathbf{27,2\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i\text{ máx.}}$ = $27,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Umidade relativa do ar – **UR** = **76%**

- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = $23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

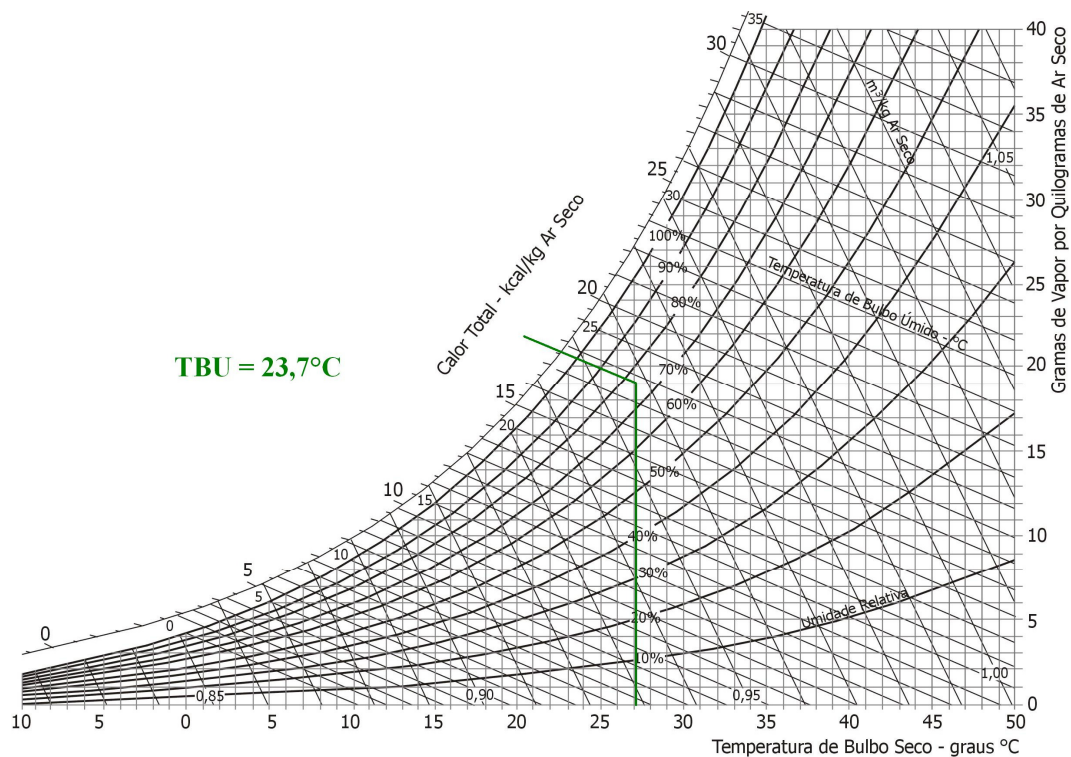


Figura 33: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Caso 01. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 56, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5 \text{ m/s}$, a TE é $24,7^{\circ}\text{C}$, para $v_0 = 1 \text{ m/s}$, a TE é $24,0^{\circ}\text{C}$ e para $v_0 = 1,5 \text{ m/s}$, a TE é $23,5^{\circ}\text{C}$.

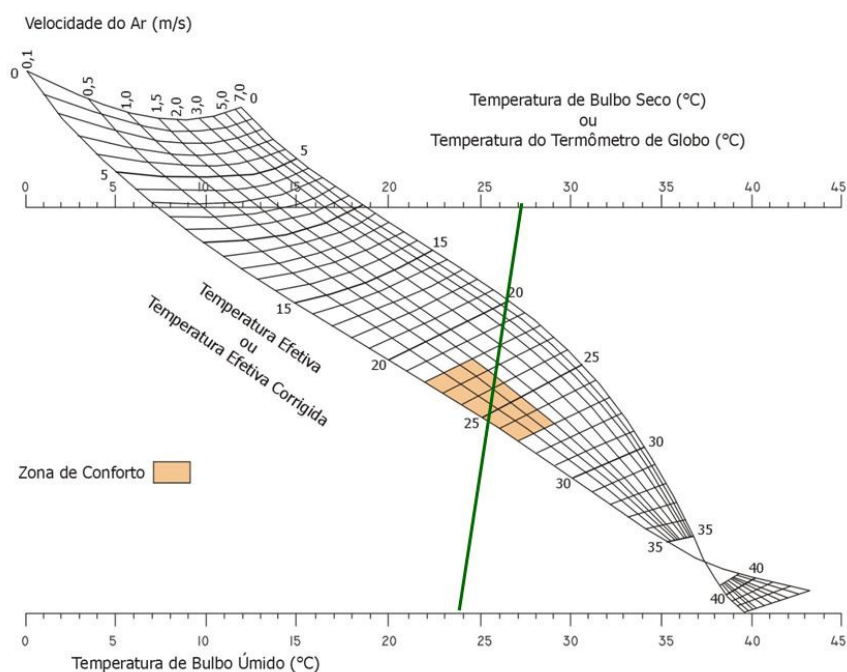


Figura 34: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Caso 01. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

A ventilação de um ambiente é entendida como a troca de ar interno por ar externo e suas principais funções são a de manter o ambiente livre de impurezas e odores indesejáveis, remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação, resfriar a estrutura do edifício e seus componentes, bem como facilitar as trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente, especialmente no verão.

Qualquer época do ano exige a necessidade de ventilação no ambiente construído, quer seja por questões térmicas ou higiênicas. E um ambiente pode ser ventilado por ventilação natural (por diferença de pressão causada pelo vento e/ou por diferença de temperatura) ou por ventilação artificial (produzida por equipamentos).

A ventilação natural por diferença de temperatura baseia-se na diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior provocando um deslocamento das massas de ar da zona de maior para a menor pressão. Quando, nestas condições, existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece uma circulação de ar da abertura inferior para a superior, denominada efeito chaminé.

No que se refere ao fluxo de ar, a fórmula básica advém da analogia hidráulica, admitindo-se para a massa específica do ar um valor correspondente a uma temperatura média do ar externo e interno, e uma diferença de pressão referida às meias alturas das aberturas. Admitidas essas hipóteses, válidas para casos de edifícios de usos mais gerais como habitações, a fórmula básica para o cálculo de ar por efeito chaminé é:

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 9,7 (1 - 0,8) = 1,94 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 1,94)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,05$$

$$\Phi_c = 0,099 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,099 \times 3600$$

$$\Phi_c = 356,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V \quad N = 356,4/79,80 \quad \mathbf{N = 4,5/h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

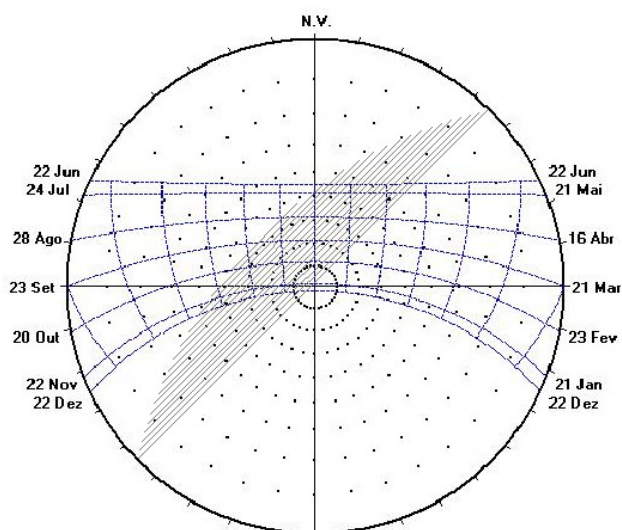
5.3.2 Caso 02

Casa de bloco cerâmico estrutural

Neste momento, torna-se importante esclarecer que os resultados que se repetem no Caso 02 em relação ao Caso 01 serão apresentados somente com seus valores finais, sem memorial de cálculos, para que o texto não fique repetitivo. O Caso 02 só difere quanto ao sistema de vedação estrutural e orientação de implantação. Portanto, algumas etapas da metodologia aplicada têm os mesmos valores de resultados.

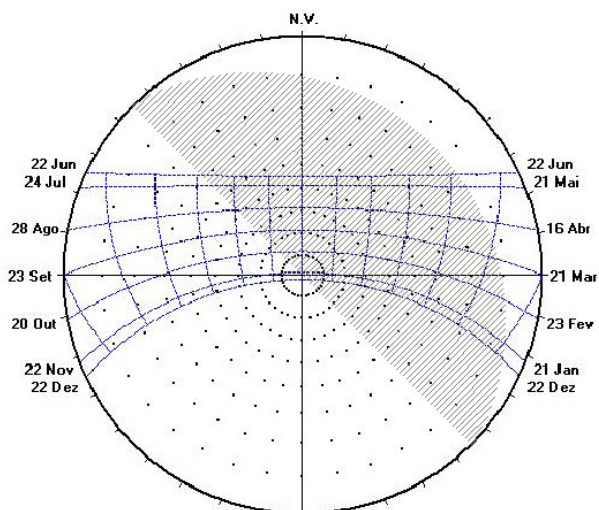
Estudos geométricos de máscara/insolação

Para o Caso 02, os ângulos de sombreamento das fachadas possuem os mesmos valores que os do Caso 01, uma vez que os projetos arquitetônicos são iguais, apenas se diferenciam quanto à orientação de implantação, e com isso apresentam ganhos de calor solar também diferenciados em cada fachada.



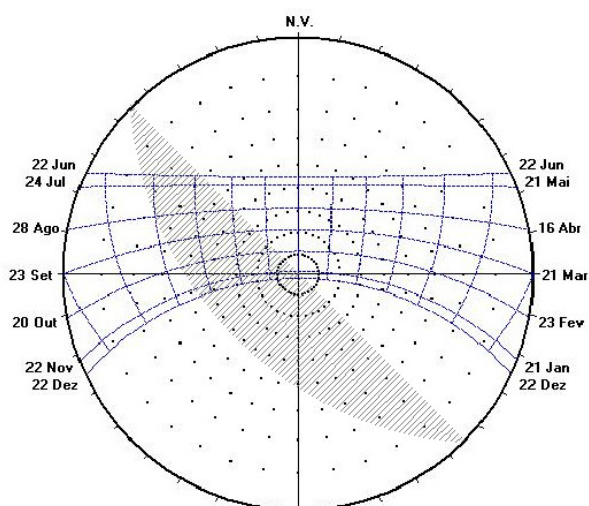
Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21.15

Fachada NW (72% céu visível)



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21,15

Fachada NE (30% céu visível)



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-21,15

Fachada SW (64% céu visível)

Figuras 35: Cartas solares para latitude de 21°15' com efeito de sombreamento (% céu visível) das fachadas NW, NE e SW – Caso 2.

Ajustamento prévio dos dados de radiação solar incidente global – I_g

$$I_g = I_D + I_d \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Tabela 19: Cobertura horizontal – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 567 | 801 | 985 | 1105 | 1140 | 1105 | 985 | 801 | 567 | 289 |

Tabela 20: Fachada Sudeste (NE) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_g | 412 | 407 | 344 | 225 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I_D | 362 | 349 | 281 | 157 | - | - | - | - | - | - |

Tabela 21: Fachada Sudeste (NE) – com efeito de obstrução (30% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I _D | 362 | 349 | 281 | 157 | - | - | - | - | - | - |
| I _d | 15 | 17 | 19 | 20 | 19 | 20 | 19 | 17 | 15 | 11 |
| I _g | 377 | 366 | 300 | 177 | 19 | 20 | 19 | 17 | 15 | 11 |

Tabela 22: Fachada Sudoeste (SW) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I _g | 50 | 58 | 63 | 68 | 107 | 288 | 446 | 578 | 673 | 547 |
| I _d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I _D | - | - | - | - | 42 | 225 | 383 | 520 | 623 | 509 |

Tabela 23: Fachada Sudoeste (SW) – com efeito de obstrução (64% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I _D | - | - | - | - | 42 | 225 | 383 | 520 | 623 | 509 |
| I _d | 32 | 37 | 40 | 44 | 42 | 44 | 40 | 37 | 32 | 24 |
| I _g | 32 | 37 | 40 | 44 | 84 | 269 | 423 | 557 | 655 | 533 |

Tabela 24: Fachada Noroeste (NW) – livre de obstrução

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I _g | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 225 | 344 | 407 | 412 | 299 |
| I _d | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 |
| I _D | - | - | - | - | - | 157 | 281 | 349 | 362 | 261 |

Tabela 25: Fachada Noroeste (NW) – com efeito de obstrução (72% céu visível)

| (W/m ²) | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I _D | - | - | - | - | - | 157 | 281 | 349 | 362 | 261 |
| I _d | 36 | 42 | 45 | 49 | 47 | 49 | 45 | 42 | 36 | 27 |
| I _g | 36 | 42 | 45 | 49 | 47 | 206 | 326 | 391 | 398 | 288 |

Dados do edifício e caracterização térmica dos materiais envoltórios

Cálculo da Transmitância térmica – U

O memorial de cálculos da transmitância térmica (U) dos componentes envoltórios do ambiente analisado (Caso 02) também se encontra nos Apêndices ao final deste documento. Abaixo serão apresentados os valores finais para a transmitância térmica atribuídos a cada componente construtivo.

Tabela 26: Valores da transmitância térmica dos componentes envoltórios – Caso 02.

| Componente | Descrição | Transmitância térmica (U) |
|------------|--|---|
| Cobertura | Telha cerâmica de barro com câmara de ar não ventilada e forro de madeira de pinus | - Para fluxo ascendente: U = 3,84 W/(m².K) - Para fluxo descendente: U = 1,79 W/(m².K) |
| Paredes | Bloco cerâmico estrutural sem revestimento interno e externo | U = 2,10 W/(m².K) |
| Janela | Folha em madeira de eucalipto com vedação em vidro comum | U = 5,72 W/(m².K) |
| Porta 01 | Porta de madeira de folha única com câmara de ar não ventilada | U = 2,44 W/(m².K) |
| Porta 02 | Porta de madeira de folha dupla com câmara de ar não ventilada | U = 2,44 W/(m².K) |

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas NE, SW e NW.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot U \cdot R_{se} \cdot I_g$ (W)

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot FS_t \cdot I_g$ (W)

Tabela 26: Cálculo dos ganhos de calor de cada componente – Caso 02.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor | |
|------------------|----------------------|--|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q_1 = 25,20 \cdot (0,80 \cdot 1,79)/20 \cdot I_g$ | Q₁ = 1,80 I_g |
| Parede NW | 11,60 m ² | $Q_2 = 11,60 \cdot (0,70 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | Q₂ = 0,85 I_g |
| Parede SW | 18,20 m ² | $Q_3 = 18,20 \cdot (0,70 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | Q₃ = 1,33 I_g |
| Parede NE | 15,28 m ² | $Q_4 = 15,28 \cdot (0,70 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | Q₄ = 1,12 I_g |
| Janela (vidros) | 0,85 m ² | $Q_5 = 0,85 \cdot 0,86 \cdot I_g$ | Q₅ = 0,73 I_g |
| Janela (madeira) | 0,46 m ² | $Q_6 = 0,46 \cdot (0,70 \cdot 3,29)/20 \cdot I_g$ | Q₆ = 0,05 I_g |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q_7 = 1,48 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | Q₇ = 0,12 I_g |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q_8 = 2,31 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | Q₈ = 0,19 I_g |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

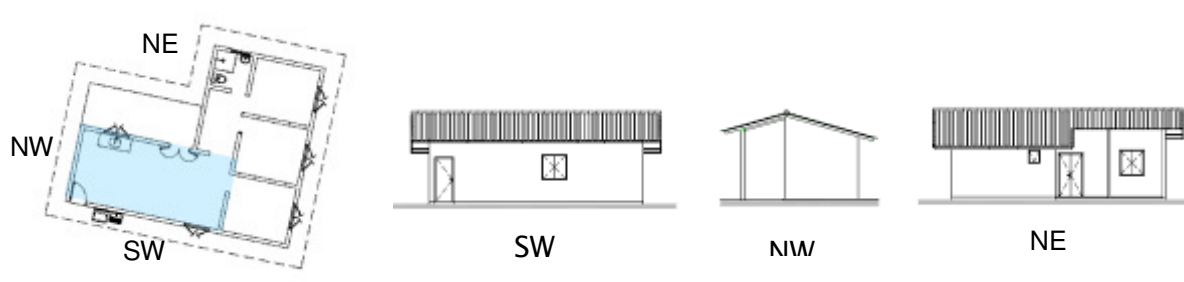
I_g = Intensidade da radiação solar global

A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

I_g = Intensidade da radiação solar global

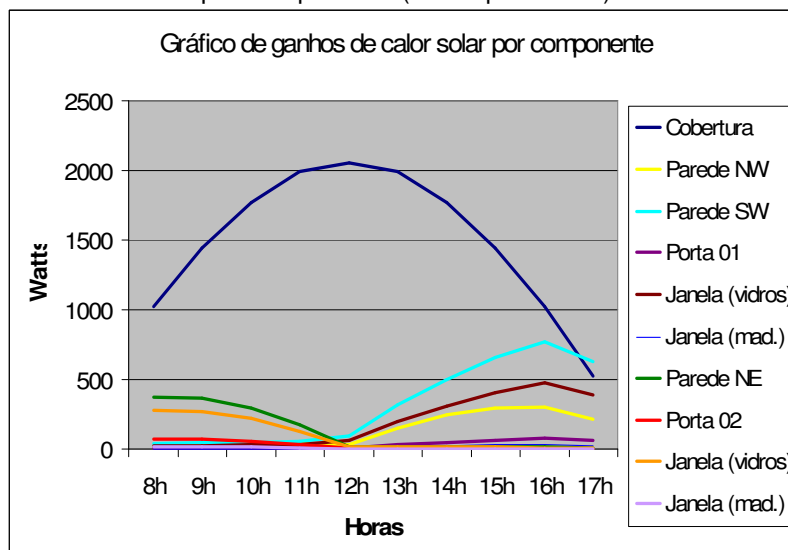
Tabela 27: Planilha de ganhos de calor solar – Caso 02 bloco cerâmico



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cobertura $Q_1=1,80I_g$ (W) | 1020 | 1442 | 1773 | 1989 | 2052 | 1989 | 1773 | 1442 | 1020 | 520 |
| Parede NW $Q_2=0,85I_g$ (W) | 42 | 49 | 53 | 58 | 55 | 191 | 292 | 346 | 350 | 254 |
| Parede SW $Q_3=1,33I_g$ (W) | 66 | 77 | 84 | 90 | 142 | 383 | 593 | 769 | 895 | 728 |
| Porta 01 $Q_7=0,12I_g$ (W) | 4 | 4 | 5 | 5 | 10 | 32 | 51 | 67 | 79 | 64 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g$ (W) | 23 | 27 | 29 | 32 | 61 | 196 | 309 | 407 | 478 | 389 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g$ (W) | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 13 | 21 | 28 | 33 | 27 |
| Parede NE $Q_4=1,12I_g$ (W) | 461 | 456 | 385 | 252 | 73 | 76 | 71 | 65 | 56 | 43 |
| Porta 02 $Q_8=0,19I_g$ (W) | 72 | 70 | 57 | 34 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g$ (W) | 275 | 267 | 219 | 129 | 14 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g$ (W) | 19 | 18 | 15 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 1984 | 2412 | 2622 | 2600 | 2416 | 2900 | 3129 | 3140 | 2926 | 2036 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Gráfico 2: Ganhos de calor solar por componente (Watts por Horas) – Caso 02



Ganhos de calor devidos à ocupação (calor sensível)

- 4 pessoas sentadas, cosendo à mão – 65 W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 177)

$$Q_e = 4 \times 65 \text{ W}$$

$$Q_e = 260 \text{ W}$$

Ganhos de calor gerados internamente por equipamentos

- 4 lâmpadas fluorescentes de 23w = 92W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

- 1 geladeira = 90W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

- 1 fogão comum = 60 W²¹

- 1 televisão em cores 20” = 90 W (FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 207)

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{\text{lamp}} + Q_{\text{gel}} + Q_{\text{fog}} + Q_{\text{sol}} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 3140 \quad \mathbf{Q_{\text{total}} = 3732W}$$

Perdas de calor devido à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{(\text{op, tr})} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{\text{vent.}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devido à ventilação.

Tabela 28: Cálculo das perdas de calor por componente – Caso 02.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|--|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77\Delta t$ (W) |
| Parede NW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 24,36\Delta t$ (W) |
| Parede SW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 38,22\Delta t$ (W) |
| Parede NE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 32,08\Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50\Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61\Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63\Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{\text{vent.}} = 167,58\Delta t$ (W), para N = 6 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{\text{total}} = 383,75\Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

Q'_{vent} = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{\text{op, tr}}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

²¹ Fonte: <[HTTP://www.natureba.com.br/energia-eletrrodomesticos.htm](http://www.natureba.com.br/energia-eletrrodomesticos.htm)> , acessado em julho de 2008.

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3732 = 383,75\Delta t \quad \Delta t = 3732/383,75 \quad \Delta t = 9,7^{\circ}\text{C}$$

Para determinação do fator de inércia

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada – que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes internas, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos – em relação à área do piso do local.

Tabela 29: Determinação do fator da inércia térmica do ambiente – Caso 02.

| Para determinação do fator de inércia | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Elementos construtivos da envoltória | Área (m ²) | Peso e/2 x d x 1 (kg/m ²) | Resistência térmica do revestimento (m.K/W) | Coeficiente da resistência térmica do revestimento | Área x Coeficiente da resistência térmica do revestimento (m ²) | Superfície equivalente pesada / área do piso |
| Parede NW | 18,20 | 84* | 0 | 1/3 | 6,06 | 1,45 |
| Parede SW | 11,60 | | | | 3,86 | |
| Parede NE | 15,28 | | | | 5,09 | |
| Parede SE | 9,92 | | | | 3,30 | |
| Piso | 23,26 | 110** | 0 | 2/3 | 15,50 | |
| Cobertura (forro + telha) | 25,20 | 14,65*** | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | Superfície equivalente pesada | 38,81 |
| Classificação da inércia térmica (ver Anexo B) | | | | | | Coeficiente de inércia |
| Inércia fraca | | | | | | m = 0,6 |

Onde:
e = espessura
d = densidade

*Parede: $0,14/2 \times 1200 \times 1 = 84 \text{ kg/m}^2$

**Piso: $0,10 \times 2200 \times 1 = 110 \text{ kg/m}^2$

***Cobertura, considerando o forro de pinus e a telha cerâmica:

Forro: $0,02/2 \times 525 \times 1 = 5,25 \text{ kg/m}^2$

Telha: $0,01/2 \times 1880 \times 1 = 9,4 \text{ kg/m}^2$

Para densidade da parede de bloco cerâmico estrutural consultar:

Norma ABNT NBR 15220-2: 2005

Para densidade da telha cerâmica consultar:

BUENO, A.D.; DA CUNHA NETO, J.A.B.; Determinação de propriedades relacionadas à transferência de massa em telhas cerâmicas. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/106-DeterminacaoPropriedadesFisicas.pdf>>, com acesso em julho de 2009.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$T_{em\acute{a}x} = (29,6 + 33,2)/2 = 31,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{em\grave{i}n} = (18,0 + 14,5)/2 = 16,2^{\circ}\text{C}$$

$$t_e = (31,4 + 16,2)/2 = \mathbf{23,8^{\circ}\text{C}}$$

$$A' = 31,4 - 16,2 = 15,2^{\circ}\text{C}$$

$$E = 15,2/2 = \mathbf{7,6^{\circ}\text{C}}$$

*Consultar tabela 6 (página 65)

Onde:

$T_{em\acute{a}x}$ = Temperatura externa média

$T_{em\grave{i}n}$ = Temperatura externa mínima

t_e = Temperatura externa média

A' = Amplitude de temperatura

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i\text{ máx}}$

$$t_{i\text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,6) 7,6 + (1 - 0,6) \cdot 9,7$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + 3,04 + 3,88$$

$$\mathbf{t_{i\text{ máx}} = 30,7^{\circ}\text{C}}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i\text{ máx.}}$ = $\mathbf{30,7^{\circ}\text{C}}$

- Umidade relativa do ar – **UR** = $\mathbf{76\%}$

- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = $\mathbf{26,8^{\circ}\text{C}}$

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

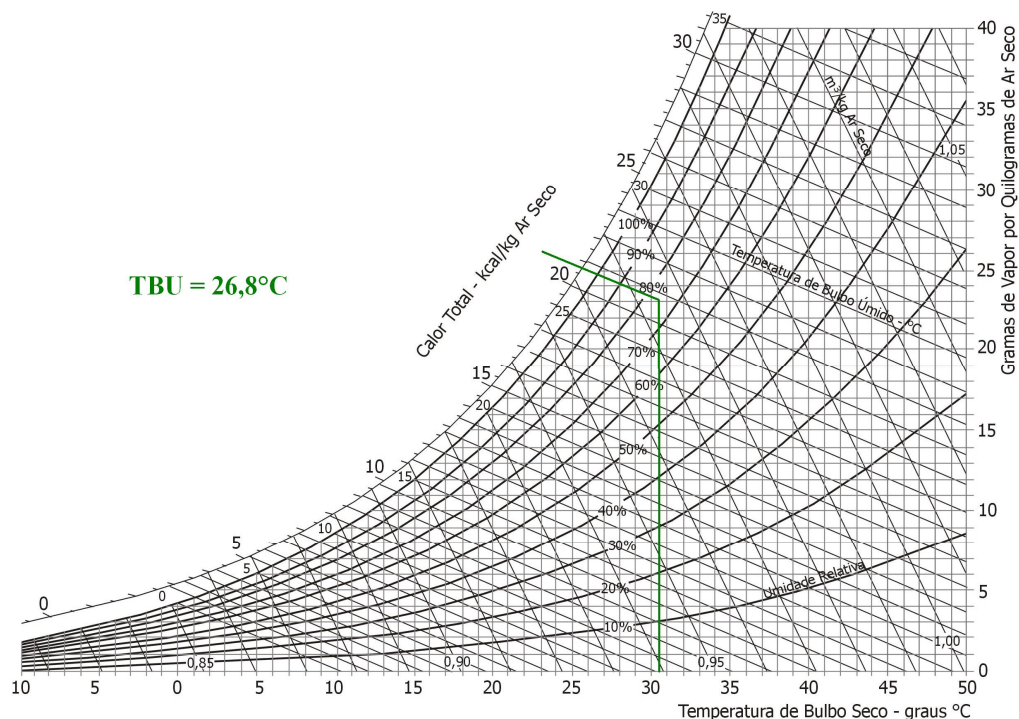


Figura 36: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Caso 02. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 62, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5$ m/s, a TE é 27,9°C, para $v_0 = 1$ m/s, a TE é 27,2°C e para $v_0 = 1,5$ m/s, a TE é 26,6°C.

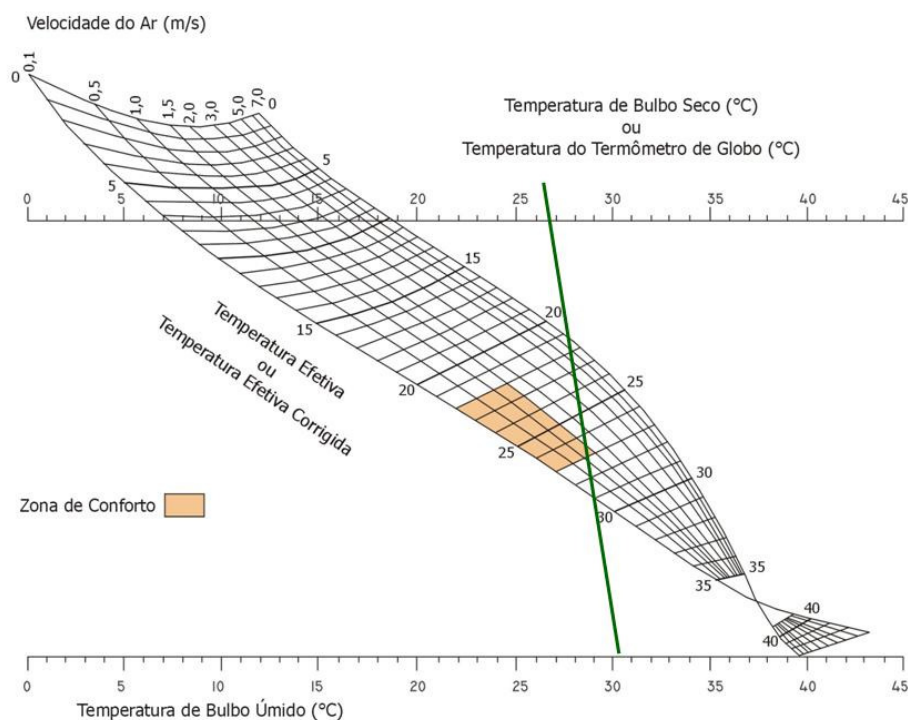


Figura 37: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Caso 02. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 9,7 \cdot (1 - 0,6) = 3,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 3,88)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,48$$

$$\Phi_c = 0,1408 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,1408 \times 3600$$

$$\Phi_c = 506,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V$$

$$N = 506,88/79,80$$

$$N = 6,3/\text{h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.4 Análise e sistematização dos resultados da aplicação do método do C.S.T.B. para os Casos 01 e 02

A aplicação do método do C.S.T.B. seguiu passo a passo o roteiro para análise de conforto térmico apresentado e considerou o mesmo perfil de ocupação para o ambiente escolhido nas duas tipologias habitacionais, apenas a diferenciando quanto ao material construtivo do sistema de vedação, adobe e bloco cerâmico estrutural, e orientação em relação ao Norte Geográfico.

Como visto, em relação aos materiais construtivos, para as duas tipologias foram adotados dados reais dos objetos empíricos, os próprios materiais escolhidos pelos moradores na etapa de elaboração de projeto arquitetônico.

De posse destes dados foi preciso criar uma condição hipotética de uso para definição do perfil de ocupação e equipamentos. Desta forma, para calcular o ganho de calor no ambiente, foi considerado que haveria no compartimento sala/cozinha: quatro pessoas em atividades leves, um fogão simples a gás, quatro lâmpadas fluorescentes, uma televisão em cores de 20" e uma geladeira.

O projeto arquitetônico é idêntico para os dois casos, inclusive na medida da espessura das paredes, sem considerar o revestimento do Caso 01. Entretanto, para a sua implantação foi levado em consideração a situação real de orientação em relação ao Norte Geográfico das habitações no assentamento Sepé Tiaraju e, por isso, as tipologias apresentam a face maior do compartimento escolhido em orientações diferentes. No Caso 01 a face maior está orientada para noroeste e no Caso 02 para sudoeste, o que resulta em situações diferenciadas de ganhos de calor por incidência de radiação solar às 15 horas, horário utilizado nos dois Casos para efeito comparativo de aplicação do método.

Definida a caracterização das edificações, foi escolhido o dia típico a ser considerado para aplicação do método, 22 de dezembro, denominado como solstício de verão, data de início da estação. O dia 22 de dezembro pode ser tomado como típico das condições de calor na transição primavera-verão. Esse mês apresenta temperaturas relativamente altas e marca o início da temporada de chuvas.

Outro ponto importante para a escolha deste dia típico se refere ao fato de que apesar do registro de grandes amplitudes térmicas registradas no inverno mostrando ser uma estação que provoca sensações térmicas desfavoráveis, principalmente à noite, os moradores desta região de estudo passam a maior parte

do ano sob a influência da sensação térmica de calor provocada pela constância de temperaturas elevadas.

Contudo que fora levantado, a aplicação do método pode ser feita com êxito, tornando-se importante reafirmar neste momento que esta metodologia não teria sido factível sem as consultas constantes ao livro de FROTA & SCHIFFER (2000), o Manual do Conforto Térmico.

Para facilitar a análise da aplicação do método foi criado um quadro resumo com os principais resultados, que servirá como ponto de partida para o entendimento dos resultados obtidos para análise do desempenho térmico das tipologias habitacionais avaliadas.

Quadro 1: Quadro Resumo com os principais resultados da aplicação do método do C.S.T.B. aos Casos 01 e 02.

| QUADRO RESUMO | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--|---------------|
| Dados | CASO 1 | CASO2 | Está dentro da zona de Conforto segundo o Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve? (S/N) | |
| U cobertura para fluxo descendente | 1,79 W/m ² K | 1,79 W/m ² K | | |
| U cobertura para fluxo ascendente | 3,84 W/m ² K | 3,84 W/m ² K | | |
| U parede | 2,92 W/m ² K | 2,10 W/m ² K | | |
| Fator de inércia | 0,8 (média) | 0,6 (fraca) | | |
| Q_{sol} (W) | 3211 | 3140 | | |
| Q_{tot} (W) | 3803 | 3732 | | |
| Q'_{tot} (Δt)(W) | 392,78 Δt | 383,75 Δt | | |
| N | 5 | 6 | | |
| t_{imax} | 27,2 °C | 30,7 °C | CASO 1 | CASO 2 |
| TE (0,5 m/s) | 24,7 °C | 27,9 °C | S | N |
| TE (1 m/s) | 24,0 °C | 27,2 °C | S | N |
| TE (1,5 m/s) | 23,5 °C | 26,6 °C | S | N |

O quadro 1 sintetiza os resultados obtidos pela aplicação do método e pode ser interpretado de maneira comparativa entre os Casos avaliados. Em destaque nas cores verde e vermelho está a nomenclatura conclusiva, sim (S) ou não (N), que classifica a edificação em confortável termicamente ou não. De acordo com o nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve²², apenas o Caso 01 atingiu a Zona de Conforto.

O Caso 02, representado pela linha verde na figura 63, se aproxima da zona de conforto térmico delimitada pelo Nomograma, mas não apresenta resultado satisfatório para nenhuma das velocidades do vento indicadas.

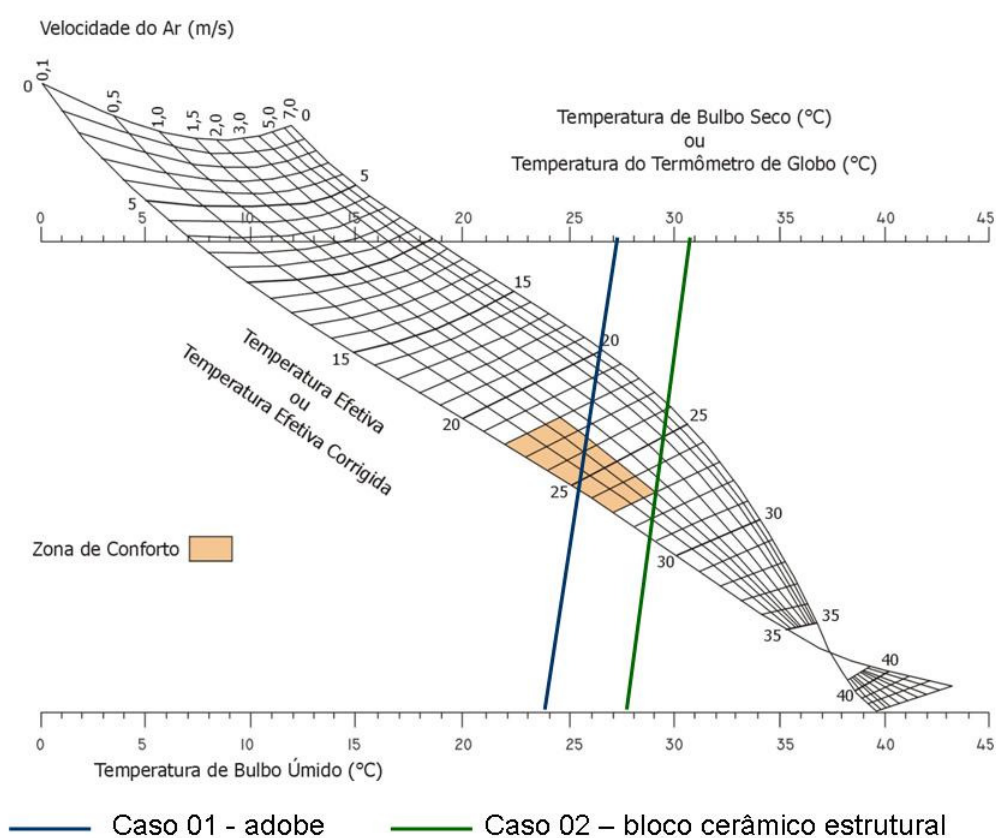


Figura 38: Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve com os resultados dos Casos 01 e 02.

Verificou-se no Capítulo 3 que, quanto à inércia térmica, a norma 15220-3 sugeriu que se usasse para este clima quente de verões chuvosos e invernos secos com grandes amplitudes térmicas, paredes consideradas pesadas, ou seja, de elevada inércia térmica.

²² KOENIGSBERGER, O. *et alli* – *Vivenda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid, Paraninfo, 1977.

A construção em terra é caracterizada por possuir uma elevada massa por unidade de superfície. Os edifícios que empregam esta tecnologia possuem elevada inércia térmica, o que a torna adequada a regiões onde as amplitudes térmicas diurnas são significativas. A elevada inércia térmica atua como volante de inércia nas mudanças de temperatura do interior dos edifícios, atrasando o aquecimento dos espaços interiores quando a temperatura exterior é mais elevada e diminuindo o ritmo com que a temperatura interior baixa durante a noite, através da liberação da energia armazenada nas paredes durante o dia.

Entretanto, ao contrário do que tradicionalmente se julga os blocos de terra não são bons isolantes térmicos, pois possuem valores para a condutividade térmica que podem chegar a 1,4 W/(m.K). Como os adobes são densos, estes possuem porosidade reduzida pelo que a transferência de calor se encontra facilitada. Apesar de não ser uma solução tradicional, é possível aplicar revestimentos termicamente isolantes neste tipo de paredes de modo a melhorar o seu comportamento térmico.²³

No caso analisado, considerou-se revestimento interno (2 cm) e externo (2 cm) do mesmo material de composição do adobe, aumentando assim, a resistência do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes. Portanto, a alvenaria de adobe é uma solução de parede simples que com revestimento apresentou desempenho térmico adequado para esta região climática em que as tipologias analisadas estão implantadas.

A construção em blocos cerâmicos estruturais possui condutividade térmica de 0,9 W/(m.K). A condutividade térmica caracteriza a maior ou menor facilidade de condução de calor por parte dos materiais. Já o adobe produzido *in loco*, por se tratar de uma técnica artesanal de construção e, em muitos casos, sem controle de qualidade previsto por uma norma específica, pode apresentar valores de condutividade térmica entre 0,7 a 1,4 W/(m.K)²⁴. Sendo assim, para a aplicação do método do C.S.T.B. nesta pesquisa foi considerado um valor médio de 1,05 W/(m.K) para a condutividade térmica do adobe.

²³

Fonte:

<<http://209.85.165.104/search?q=cache:HwTaPcmfhDMJ:https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/817/6/Parte%2520II.pdf+tijolo+de+terra+crua+condutibilidade&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=11&gl=br>>, acessado em agosto de 2008.

²⁴ SIMÕES, Fausto. A qualidade térmica da terra e o desafio da regulamentação energética. Disponível em: <http://www.arquitectologia.org/FS_Qualidade%20termica.pdf>, com acesso em julho de 2009.

Dando continuidade à avaliação dos resultados, nas tabelas e nos gráficos de ganhos de calor solar dos Casos 01 e 02, o elemento da envoltória responsável pelo maior ganho foi a cobertura, que é o componente construtivo de maior área de superfície de contato direto com a incidência da radiação solar. Mas, se considerar o ganho proporcional à área de superfície de cada componente construtivo, a parede de menor área do Caso 1 orientada à sudoeste teve grande influência no ganho de calor da tipologia de adobe, como se pode observar em destaque na tabela 30.

Tabela 30: Planilha síntese de ganhos de calor solar às 15 horas: Casos 01 e 02.

| Planilha síntese de ganhos de calor solar às 15 horas | | |
|--|-----------------|----------------|
| Componentes | Caso 01 | Caso 02 |
| Pela cobertura (25,20 m ²) | 1442 | 1442 |
| Pela fachada de maior área (18,20 m ²) | 717 (NW) | 769 (SW) |
| Pela fachada de menor área (11,60 m ²) | 663 (SW) | 346 (NW) |

Ressalta-se neste momento a importância da orientação da implantação. Percebe-se que pela orientação do Caso 1 associado ao material de composição das paredes externas (adobe) do compartimento escolhido para avaliação comparativa de desempenho térmico, existe um ganho maior de calor em relação ao Caso 2.

O total de ganhos de calor solar, por ocupação e por equipamentos, foi de 3211W no Caso 1 e de 3140W no Caso 2. Entretanto, o total de perdas de calor observado equilibrou o valor de Δt , que é a diferença entre a temperatura do ar interno e externo, sendo de 9,7°C nos Casos 01 e 02.

Contudo, é possível afirmar neste momento que a variável que fez mesmo a maior diferença nos resultados de avaliação dos Casos 01 e 02 foi o fator de inércia. No Caso 01 foi de 0,8, classificando-a como inércia média e no Caso 2 foi de 0,6, considerada inércia fraca. O fator de inércia de 0,8 diminuiu o valor da temperatura interna máxima do Caso 01 em relação ao Caso 02 e permitiu com que o resultado da avaliação de desempenho térmico do Caso 01 fosse satisfatório, ao contrário do resultado do Caso 02. Para que o fator de inércia do Caso 02 passasse para a classificação média, o material construtivo teria que ser aumentado ou em espessura do componente ou em densidade para que o peso da parede fosse superior a 100 kg/m².

5.5 Simulações de adaptações de projeto a fim de se obter situações termicamente mais favoráveis: Caso 2 – Casa de bloco cerâmico

O Caso 02 apresentou desempenho térmico insatisfatório de acordo com a aplicação do método do C.S.T.B., ou seja, as temperaturas efetivas extraídas do Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas e em trabalho leve não atingiram a Zona de Conforto Térmico. Assim como apontado anteriormente, a inércia da construção exerce papel importante para regiões que registram grandes amplitudes térmicas. Os casos analisados apresentaram resultados diferenciados para inércia, o Caso 1 foi classificado como de inércia média e o Caso 2, inércia fraca. O caso de inércia média teve melhores resultados, como bem se observou.

Contudo, vimos no capítulo 3 que a escolha pelo bloco cerâmico estrutural se baseou na eliminação da estrutura de pilares e vigas de concreto, de revestimentos internos e externos por ser de boa aparência e também por ter que suportar uma laje de concreto, intervenção prevista em uma etapa posterior ao término das casas com aprovação pela CAIXA. Sendo assim, para simular adaptações e/ou alterações de projeto sem provocar grandes mudanças nas escolhas feitas pelos moradores, a pesquisa propõe algumas alternativas de alterações e/ou adaptações de projeto visando melhores resultados para o desempenho térmico do Caso 02.

Quadro 2: Quadro geral de alternativas de projeto para o Caso 02.

| QUADRO GERAL DE ALTERNATIVAS – CASO 02 | | |
|---|--|--|
| Objetivo: Propor alterações de projeto para melhorar o desempenho térmico do Caso 02. | | |
| Alternativas | Objetivo específico | Implicações |
| 01 – Usar a orientação de implantação do Caso 01 para o Caso 02. | <ul style="list-style-type: none"> - Igualar as condições de ganho de calor pela incidência da radiação solar para efeito mais justo de comparação; - Expor o Caso 02 à condição real de maior ganho de calor por incidência da radiação solar, situação do Caso 01. | <ul style="list-style-type: none"> - Esta alternativa não caracteriza a situação real de implantação da unidade habitacional de blocos cerâmicos estruturais e, portanto, torna-se uma situação hipotética; - Alterações desta natureza só podem ser realizadas quando a construção ainda estiver na etapa de elaboração projetual. |
| 02 – Aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas. | <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar a capacidade de retirada de calor pela ventilação natural cruzada, economizando energia com o uso de estratégias de condicionamento térmico passivo. | <ul style="list-style-type: none"> - Os mecanismos de controle de entrada e saída do ar no ambiente devem ser flexíveis para que o usuário possa aproveitar a ventilação natural em diferentes proporções a fim de tornar o ambiente termicamente confortável em qualquer condição climática do ano. |
| 03 – Pintar as paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) de cores claras. | <ul style="list-style-type: none"> - Diminuir a retenção de calor pela incidência da radiação solar direta. | <ul style="list-style-type: none"> - Em se tratando de habitações rurais, onde o entorno das habitações é, em grande parte, composto por terra e, mais especificamente, em Serra Azul-SP, ela possui uma coloração avermelhada, a manutenção da pintura é mais difícil. Principalmente na cobertura, que exige a compra e a aplicação de produto específico de tempos em tempos e o uso de andaimes para tal operação. |
| 04 – Aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas. | <ul style="list-style-type: none"> - Diminuir os ganhos de calor pela incidência da radiação solar às 15h. - Alterar a inércia do ambiente de fraca para média, aumentando assim o amortecimento e o atraso da onda de calor. | <ul style="list-style-type: none"> - Como a escolha pelo uso de blocos cerâmicos estruturais aparentes previa a economia de materiais construtivos, bem como a diminuição no uso de cimento, através da eliminação de revestimentos interno e/ou externo nesta tipologia, optou-se nesta alternativa aumentar a espessura do bloco ao invés de aplicar algum tipo de revestimento isolante. - O uso de blocos cerâmicos estruturais de espessura maior que a utilizada aumentaria os gastos com a compra dos materiais construtivos. |

| | | |
|---|---|---|
| 05 – Aplicar uma manta de lã de vidro sob as telhas. | - Reduzir a entrada de calor no ambiente pela incidência da radiação solar. | - Por ser um material que usa como sistema de fabricação o alto forno, pode ser considerado como um fator negativo se analisado por um balanço de ganhos e perdas das diferentes dimensões da sustentabilidade. |
| 06 – Trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento) | - Testar mais uma das escolhas feita pelo grupo dos Alternativos do assentamento Sepé Tiaraju; - Avaliar uma técnica que privilegia o uso de recursos locais e renováveis. | Apesar de ser um processo de fácil assimilação por qualquer pessoa, utilizando materiais locais, não necessitando de energia de qualquer natureza para sua produção, nem mesmo a animal, a tecnologia do solo-cimento, assim como a do adobe produzido in loco, exige bastante tempo de dedicação para trabalho manual de produção por parte do morador que se beneficiará de tal produto. É esse foi um dos motivos de rejeição pela produção do adobe neste assentamento. Algumas famílias não tinham disponibilidade de tempo para a produção ou não sentiram vantagem em aplicar tempo de trabalho em troca de custos bem mais baixos que a técnica predominantemente escolhida, a construção com blocos cerâmicos estruturais. |

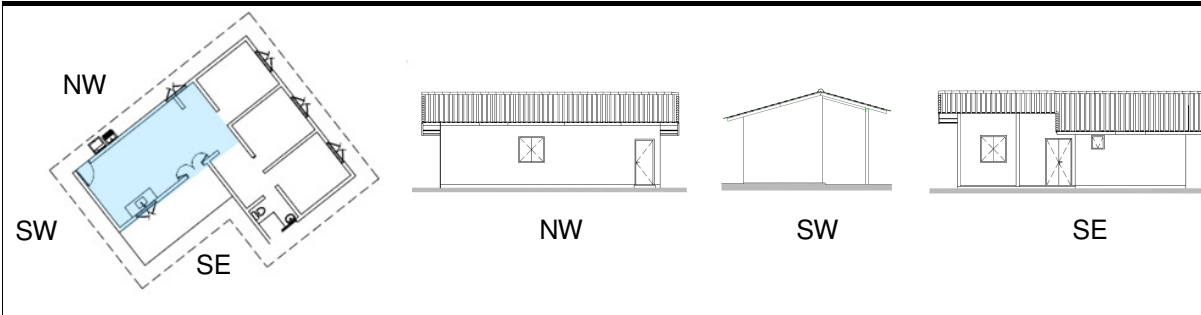
- As alternativas foram enumeradas de maneira aleatória.

5.5.1 ALTERNATIVA 01

Usar a orientação de implantação do Caso 01 para o Caso 02.

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas SW, NW e SE.

Tabela 31: Planilha de ganhos de calor solar – Alternativa 01. CASO 02 com orientação do CASO 01



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| Cobertura $Q_1=1,80lg (W)$ | 1020 | 1442 | 1773 | 1989 | 2052 | 1989 | 1773 | 1442 | 1020 | 520 |
| Parede SW $Q_2=0,85lg (W)$ | 42 | 49 | 54 | 58 | 91 | 245 | 379 | 491 | 572 | 465 |
| Parede NW $Q_3=1,33lg (W)$ | 66 | 77 | 84 | 90 | 86 | 299 | 458 | 541 | 548 | 398 |
| Porta 01 $Q_7=0,12lg (W)$ | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 39 | 46 | 47 | 34 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 23 | 27 | 29 | 32 | 31 | 147 | 234 | 282 | 288 | 208 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 16 | 19 | 20 | 14 |
| Parede SE $Q_4=1,12lg (W)$ | 754 | 647 | 500 | 323 | 120 | 76 | 71 | 65 | 56 | 43 |
| Porta 02 $Q_8=0,19lg (W)$ | 121 | 102 | 76 | 46 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 466 | 392 | 293 | 175 | 45 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 32 | 27 | 20 | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 2530 | 2769 | 2836 | 2732 | 2447 | 2810 | 2989 | 2902 | 2566 | 1693 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (lg) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{lamp} + Q_{gel} + Q_{fog} + Q_{sol} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 2902$$

$$Q_{total} = 3494 W$$

Perdas de calor devido à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$$Q'_{\text{total}} = 383,75\Delta t \text{ (W)}$$

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3494 = 383,75\Delta t \quad \Delta t = 3494/383,75 \quad \Delta t = 9,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Determinação do fator de inércia

Inércia classificada como fraca, e o coeficiente de inércia $m = 0,6$.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$t_e = 23,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i \text{ Max}}$

$$t_{i \text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,6) 7,6 + (1 - 0,6) \cdot 9,1$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + 3,04 + 3,64$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 30,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i \text{ máx.}}$ = **30,4** $^\circ\text{C}$

- Umidade relativa do ar – **UR** = **76%**

- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = **26,7** $^\circ\text{C}$

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

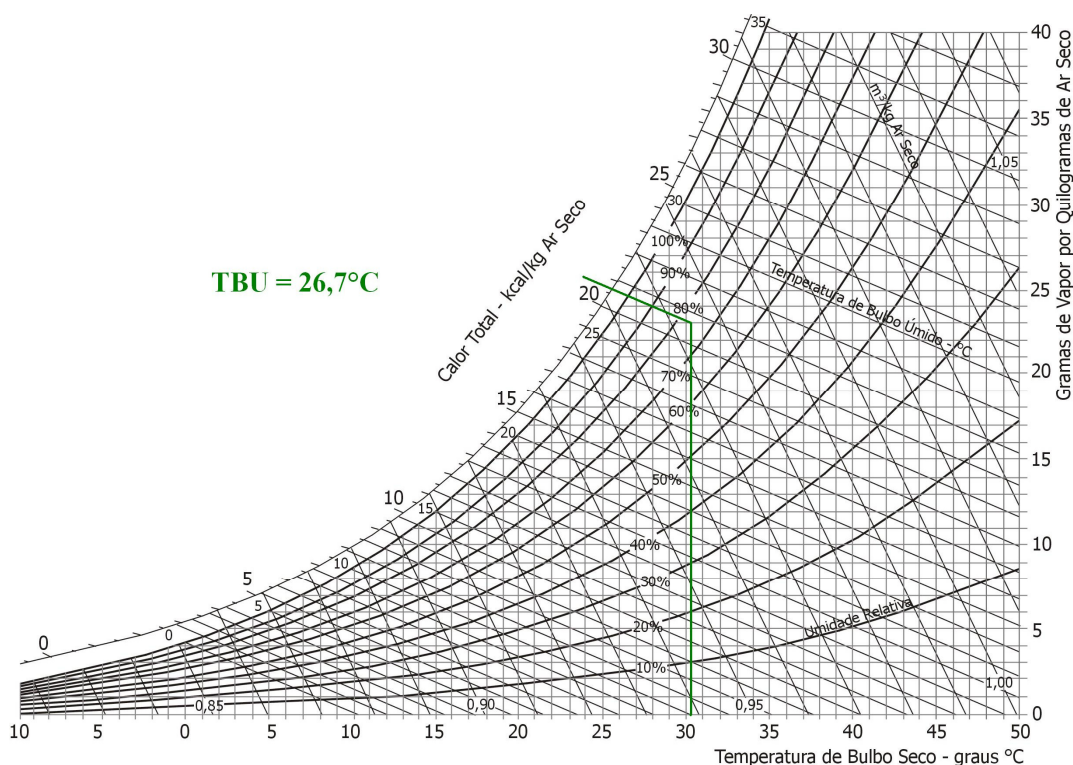


Figura 39: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 01. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 65, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5$ m/s, a TE é $27,9^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1$ m/s, a TE é $27,1^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5$ m/s, a TE é $26,4^\circ\text{C}$.

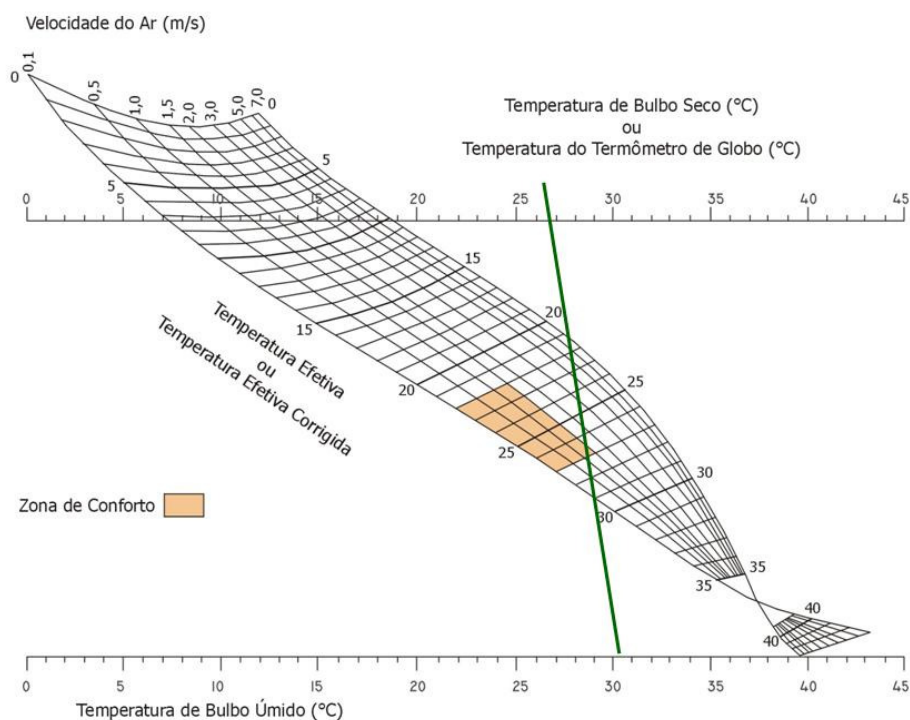


Figura 40: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 01. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 9,1 (1 - 0,6) = 3,64 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 3,64)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,44$$

$$\Phi_c = 0,137 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,137 \times 3600$$

$$\Phi_c = 493,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V$$

$$N = 493,2/79,80$$

$$N = 6,1/\text{h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.5.2 ALTERNATIVA 02

Aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas de 1,18m x 1,15m para 1,38m x 1,15m.

Para a simulação proposta para adaptação do projeto a condições mais favoráveis de desempenho térmico, as janelas passaram de 1,357m² para 1,587m² e mantiveram o sistema de 2 folhas de abrir, permitindo o aproveitamento da capacidade máxima das áreas de aberturas para a ventilação, quando necessário .

Total de ganhos de calor solar às 15 horas

Tabela 32: Planilha de ganhos de calor solar às 15 horas – Alternativa 02.

| Planilha | 15h |
|--|-------------|
| Cobertura Q ₁ =1,80lg (W) | 1442 |
| Parede SW Q ₂ =0,85lg (W) | 491 |
| Parede NW Q ₃ =1,33lg (W) | 541 |
| Porta 01 Q ₇ =0,12lg (W) | 46 |
| Janela (vidros) Q ₅ =0,73lg (W) | 282 |
| Janela (mad.) Q ₆ =0,05lg (W) | 19 |
| Parede SE Q ₄ =1,12lg (W) | 65 |
| Porta 02 Q ₈ =0,19lg (W) | 3 |
| Janela (vidros) Q ₅ =0,73lg (W) | 12 |
| Janela (mad.) Q ₆ =0,05lg (W) | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 2902 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (lg) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m2) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{\text{lamp}} + Q_{\text{gel}} + Q_{\text{fog}} + Q_{\text{sol}} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 2902$$

$$Q_{\text{total}} = 3494 \text{ W}$$

Perdas de calor devidas à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{(\text{op, tr})} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{\text{vent.}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devidas à ventilação.

Tabela 33: Cálculo das perdas de calor por componente – Alternativa 02.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77\Delta t$ (W) |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 24,36 \Delta t$ (W) |
| Parede NW | 17,97 m ² | $Q'_3 = 37,73 \Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,05 m ² | $Q'_4 = 31,60 \Delta t$ (W) |
| Janelas | 3,17 m ² | $Q'_5 = 18,13 \Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61\Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63\Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{\text{vent.}} = 195,51\Delta t$ (W), para N = 7 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{\text{total}} = 413,34 \Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

Q'_{vent} = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{\text{op, tr}}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3494 = 413,34\Delta t \quad \Delta t = 3494/413,34 \quad \Delta t = 8,4^\circ\text{C}$$

Determinação do fator de inércia

Inércia classificada como fraca, e o coeficiente de inércia $m = 0,6$.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$t_e = 23,8^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i \text{ máx}}$

$$t_{i \text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,6) 7,6 + (1 - 0,6) \cdot 8,4$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + 3,04 + 3,36$$

$$t_{i \text{ máx}} = 30,2^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i \text{ máx.}} = 30,2^\circ\text{C}$
- Umidade relativa do ar – **UR** = **76%**
- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = **26,4°C**

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

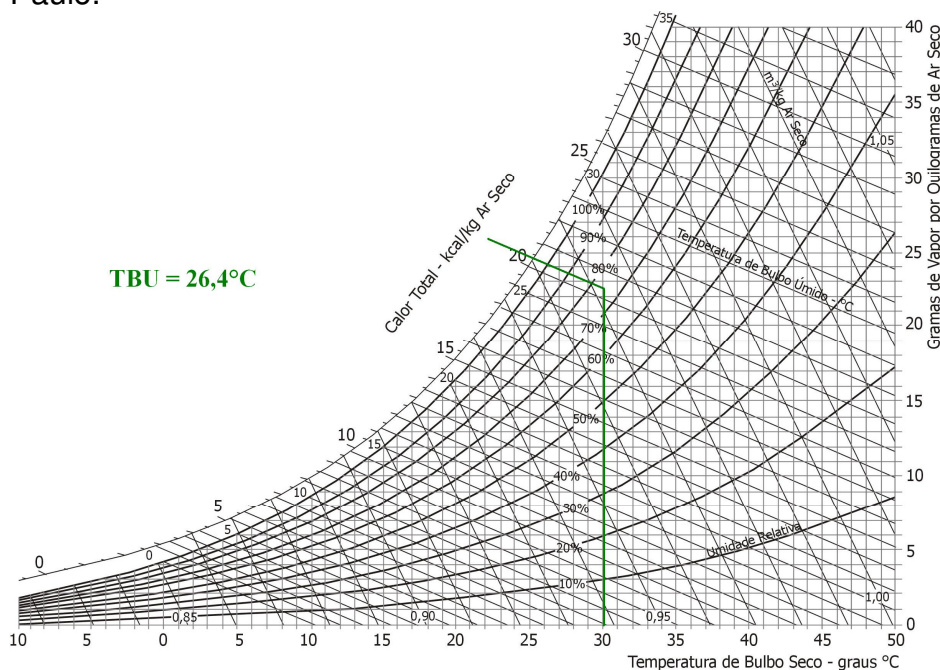


Figura 41: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 02. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 67, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5 \text{ m/s}$, a TE é $27,6^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1 \text{ m/s}$, a TE é $26,9^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5 \text{ m/s}$, a TE é $26,2^\circ\text{C}$.

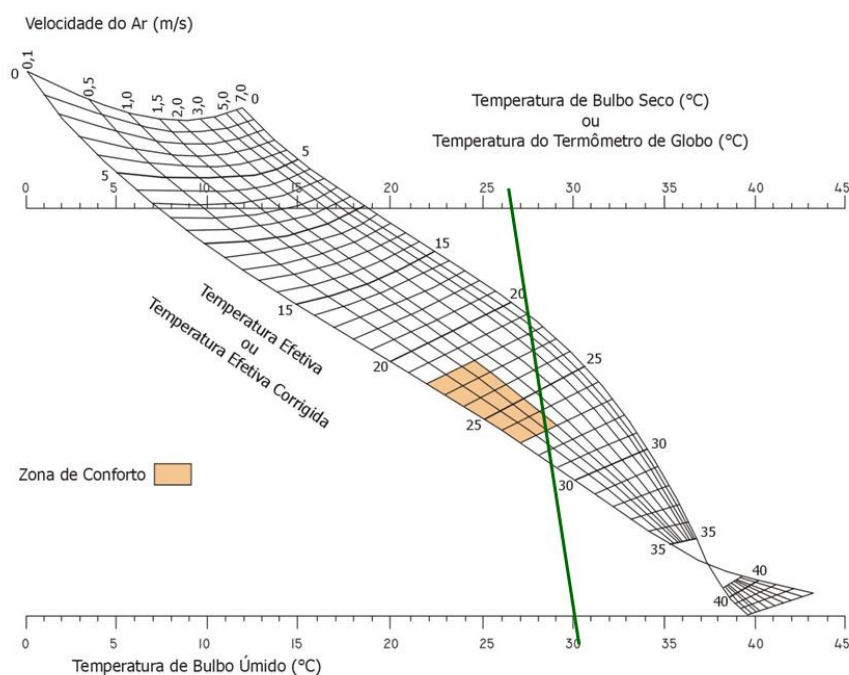


Figura 42: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 02. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 8,4 \cdot (1 - 0,6) = 3,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,38 \cdot 1,15/2 = 0,79 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,79 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,79 \cdot (0,60 \cdot 3,36)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,79 \cdot 1,41$$

$$\Phi_c = 0,1559 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,1559 \times 3600$$

$$\Phi_c = 561,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V \quad N = 561,24/79,80 \quad N = 7,0/\text{h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.5.3 ALTERNATIVA 03

Pintar as paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) de cores claras.

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas SW, NW e SE.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot U \cdot R_{se} \cdot I_g$ (W)

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot S_{tr} \cdot I_g$ (W)

Tabela 34: Cálculo dos ganhos de calor de cada componente – Alternativa 03.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor | |
|------------------|----------------------|--|------------------------------------|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q_1 = 25,20 \cdot (0,30 \cdot 1,79)/20 \cdot I_g$ | $Q_1 = 0,67 I_g$ |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q_2 = 11,60 \cdot (0,20 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | $Q_2 = 0,24 I_g$ |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q_3 = 18,20 \cdot (0,20 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | $Q_3 = 0,38 I_g$ |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q_4 = 15,28 \cdot (0,20 \cdot 2,10)/20 \cdot I_g$ | $Q_4 = 0,32 I_g$ |
| Janela (vidros) | 0,85 m ² | $Q_5 = 0,85 \cdot 0,86 \cdot I_g$ | $Q_5 = 0,73 I_g$ |
| Janela (madeira) | 0,46 m ² | $Q_6 = 0,46 \cdot (0,70 \cdot 3,29)/20 \cdot I_g$ | $Q_6 = 0,05 I_g$ |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q_7 = 1,48 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | $Q_7 = 0,12 I_g$ |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q_8 = 2,31 \cdot (0,70 \cdot 2,44)/20 \cdot I_g$ | $Q_8 = 0,19 I_g$ |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

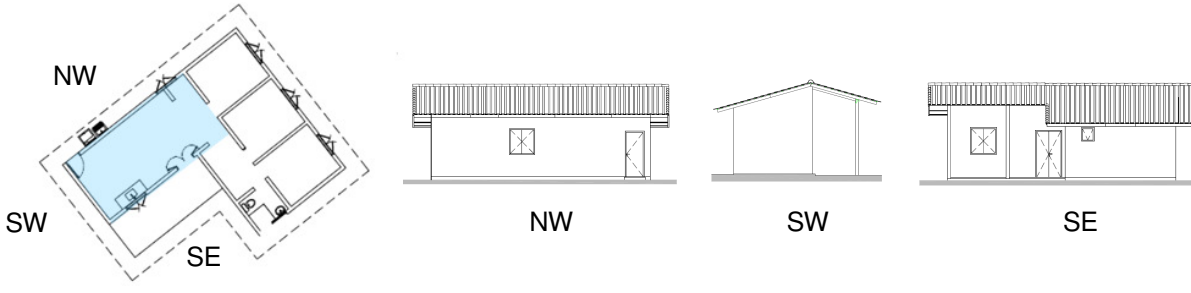
I_g = Intensidade da radiação solar global

A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

I_g = Intensidade da radiação solar global

Tabela 35: Planilha de ganhos de calor solar – Alternativa 03.



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|--|------|------|------|------|-----|------|------|-------------|------|-----|
| Cobertura $Q_1=0,67lg (W)$ | 380 | 537 | 660 | 740 | 764 | 740 | 660 | 537 | 380 | 194 |
| Parede SW $Q_2=0,24lg (W)$ | 12 | 14 | 15 | 16 | 26 | 69 | 107 | 139 | 162 | 131 |
| Parede NW $Q_3=0,38lg (W)$ | 19 | 22 | 24 | 26 | 25 | 85 | 131 | 155 | 157 | 114 |
| Porta 01 $Q_7=0,12lg (W)$ | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 39 | 46 | 47 | 34 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 23 | 27 | 29 | 32 | 31 | 147 | 234 | 282 | 288 | 208 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 16 | 19 | 20 | 14 |
| Parede SE $Q_4=0,32lg (W)$ | 215 | 185 | 143 | 92 | 34 | 22 | 20 | 19 | 16 | 12 |
| Porta 02 $Q_8=0,19lg (W)$ | 121 | 102 | 76 | 46 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 466 | 392 | 293 | 175 | 45 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 32 | 27 | 20 | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 1274 | 1312 | 1267 | 1146 | 947 | 1117 | 1226 | 1213 | 1085 | 718 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (lg) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{lamp} + Q_{gel} + Q_{fog} + Q_{sol} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 1213$$

$$Q_{total} = 1805 W$$

Perdas de calor devidas à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{(op, tr)} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{vent.} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devidas à ventilação.

Tabela 36: Cálculo das perdas de calor por componente – Alternativa 03.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|--|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77 \Delta t$ (W) |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 24,36 \Delta t$ (W) |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 38,22 \Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 32,08 \Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50 \Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61 \Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63 \Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{vent.} = 111,72 \Delta t$ (W), para N = 4 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{total} = 327,89 \Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

$Q'_{vent.}$ = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 1805 = 327,89\Delta t \quad \Delta t = 1805/327,89 \quad \Delta t = 5,5^\circ\text{C}$$

Determinação do fator de inércia

Inércia classificada como fraca, e o coeficiente de inércia $m = 0,6$.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação – E

$$t_e = 23,8^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i \text{ máx}}$

$$t_{i \text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,6) 7,6 + (1 - 0,6) \cdot 5,5$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + 3,04 + 2,2$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 29,0^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i \text{ máx.}} = 29,0^\circ\text{C}$
- Umidade relativa do ar – **UR** = **76%**
- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = **25,3°C**

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

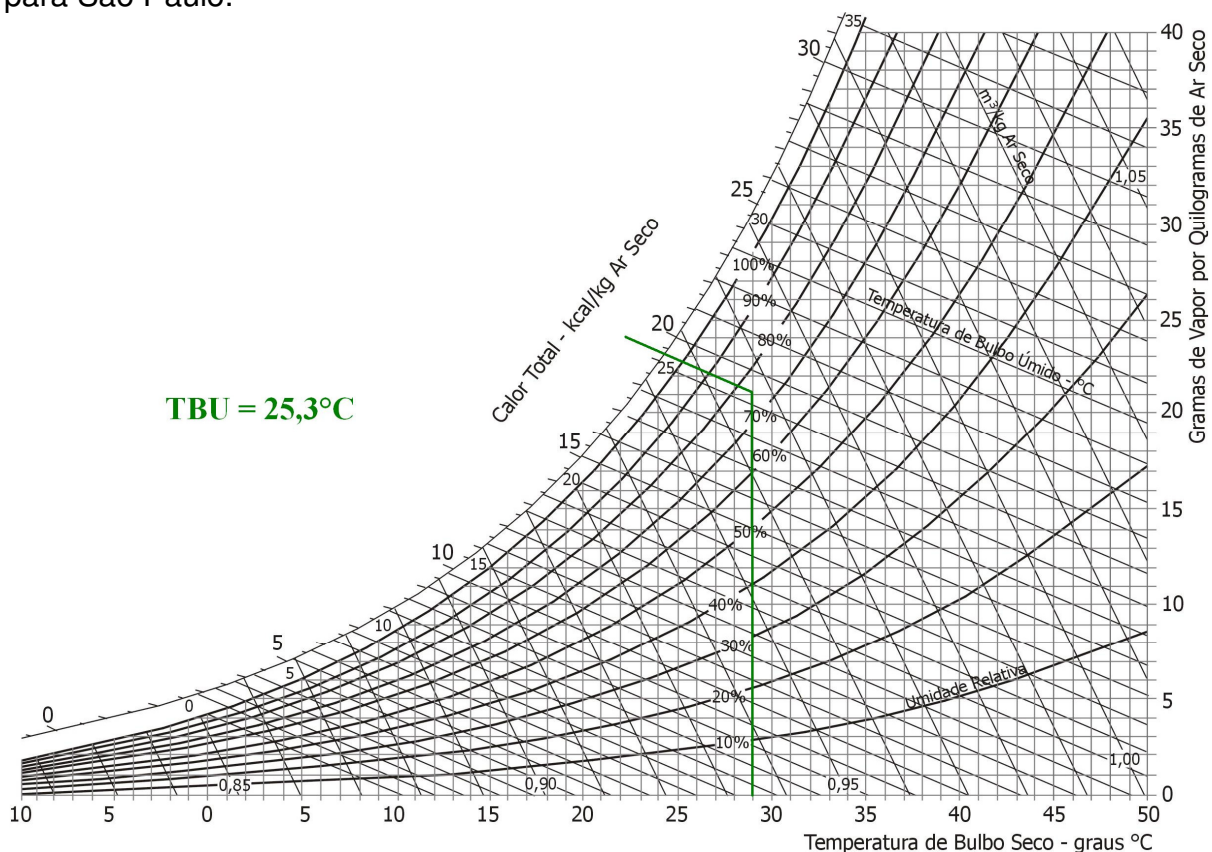


Figura 43: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 03. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 69, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5 \text{ m/s}$, a TE é $26,3^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1 \text{ m/s}$, a TE é $25,5^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5 \text{ m/s}$, a TE é $24,8^\circ\text{C}$.

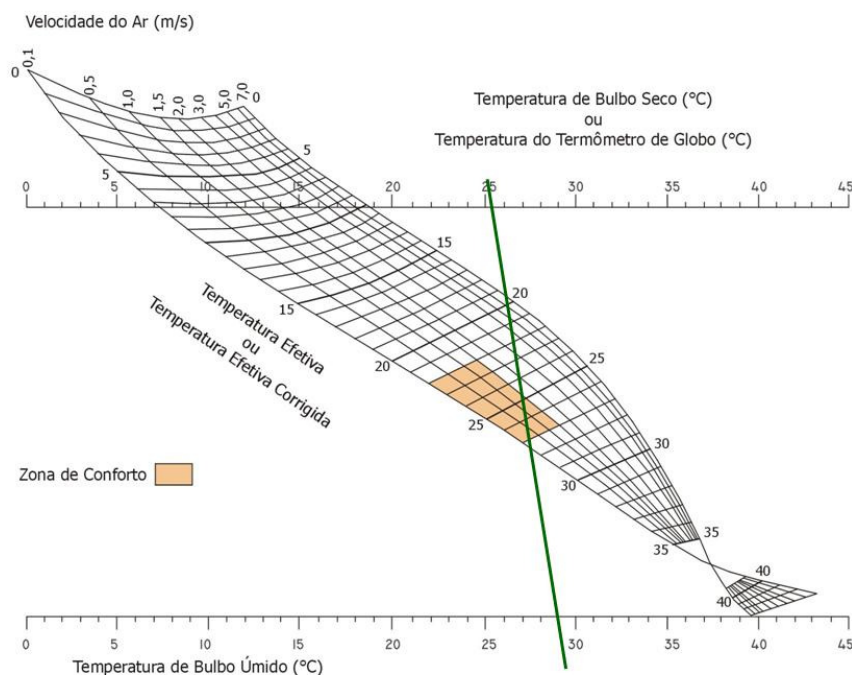


Figura 44: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 03. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 5,5 \cdot (1 - 0,6) = 2,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,60 \cdot 2,2)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,15$$

$$\Phi_c = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,10 \times 3600$$

$$\Phi_c = 360 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V \quad N = 360/79,80 \quad N = 4,5/\text{h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

$\Delta t_1 = \Delta t$ calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.5.4 ALTERNATIVA 04

Aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas.

Dados do edifício e caracterização térmica dos materiais envoltórios

Cálculo da Transmitância térmica – U

Tabela 37: Valores da transmitância térmica do componentes modificado – Alternativa 04.

| Componente | Descrição | Transmitância térmica (U) |
|------------|--|-------------------------------------|
| Parede SW | Bloco cerâmico estrutural sem revestimento interno e externo (19 x 19 x 39 cm) | U = 1,88 W/(m².K) |

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas NE, SW e NW.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot U \cdot R_{se} \cdot I_g$ (W)

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot FS_t \cdot I_g$ (W)

Tabela 38: Cálculo dos ganhos de calor do componente modificado – Alternativa 04.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor |
|------------|----------------------|---|
| Parede SW | 18,20 m ² | $Q_3 = 18,20 \cdot (0,70 \cdot 1,88)/20 \cdot I_g$ Q₃ = 1,19 I_g |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

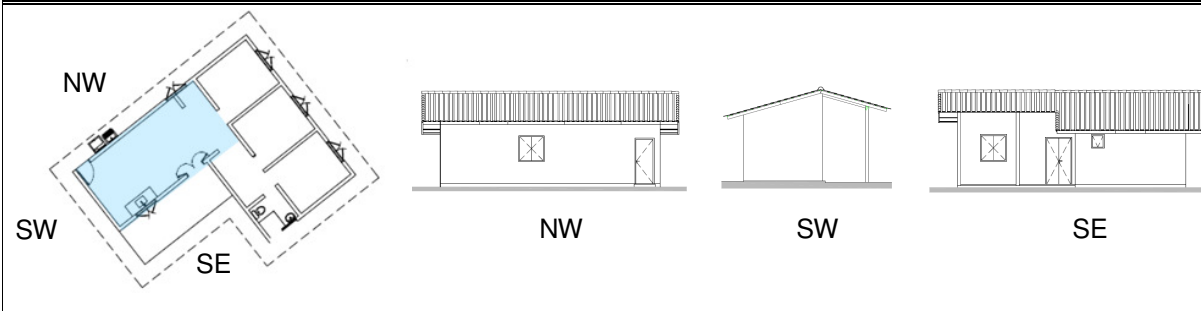
I_g = Intensidade da radiação solar global

A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

I_g = Intensidade da radiação solar global

Tabela 39: Planilha de ganhos de calor solar – Alternativa 04.



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| Cobertura $Q_1=1,80I_g (W)$ | 1020 | 1442 | 1773 | 1989 | 2052 | 1989 | 1773 | 1442 | 1020 | 520 |
| Parede NW $Q_2=0,85I_g (W)$ | 42 | 49 | 54 | 58 | 55 | 191 | 292 | 346 | 350 | 254 |
| Parede SW $Q_3=1,19I_g (W)$ | 59 | 69 | 75 | 81 | 127 | 343 | 531 | 688 | 801 | 651 |
| Porta 01 $Q_7=0,12I_g (W)$ | 4 | 4 | 5 | 5 | 10 | 32 | 51 | 67 | 79 | 64 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g (W)$ | 23 | 27 | 29 | 32 | 61 | 196 | 309 | 407 | 478 | 389 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g (W)$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 13 | 21 | 28 | 33 | 27 |
| Parede SE $Q_4=1,12I_g (W)$ | 754 | 647 | 500 | 323 | 120 | 76 | 71 | 65 | 56 | 43 |
| Porta 02 $Q_8=0,19I_g (W)$ | 72 | 70 | 57 | 34 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g (W)$ | 275 | 267 | 219 | 129 | 14 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g (W)$ | 19 | 18 | 15 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 2270 | 2595 | 2729 | 2662 | 2448 | 2860 | 3067 | 3059 | 2832 | 1959 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{lamp} + Q_{gel} + Q_{fog} + Q_{sol} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 3059$$

$$Q_{total} = 3651W$$

Perdas de calor devido à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{(op, tr)} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{vent.} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devido à ventilação.

Tabela 40: Cálculo das perdas de calor por componente – Alternativa 04.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|--|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77 \Delta t$ (W) |
| Parede NW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 21,80 \Delta t$ (W) |
| Parede SW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 34,21 \Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 28,72 \Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50 \Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61 \Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63 \Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{vent.} = 111,72 \Delta t$ (W), para N = 4 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{total} = 317,96 \Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

$Q'_{vent.}$ = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balanco Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3651 = 317,96 \Delta t \quad \Delta t = 3651/317,96 \quad \Delta t = 11,4^\circ\text{C}$$

Para determinação do fator de inércia

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada – que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes internas, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos – em relação à área do piso do local.

Tabela 41: Determinação do fator da inércia térmica do ambiente – Caso 02 – Alternativa 04.

| Para determinação do fator de inércia | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Elementos construtivos da envoltória | Área (m ²) | Peso e/2 x d x 1 (kg/m ²) | Resistência térmica do revestimento (m.K/W) | Coeficiente da resistência térmica do revestimento | Área x Coeficiente da resistência térmica do revestimento (m ²) | Superfície equivalente pesada / área do piso |
| Parede NW | 18,20 | 114* | 0 | 1/3 | 12,13 | 1,71 |
| Parede SW | 11,60 | | | 2/3 | 3,86 | |
| Parede NE | 15,28 | | | 1/3 | 5,09 | |
| Parede SE | 9,92 | | | 1/3 | 3,30 | |
| Piso | 23,26 | 110** | 0 | 2/3 | 15,5 | |
| Cobertura (forro + telha) | 25,20 | 14,65*** | 0 | 0 | 0 | |
| Superfície equivalente pesada | | | | | 39,88 | |
| Classificação da inércia térmica (ver Anexo B) | | | | | Coeficiente de inércia | |
| Inércia média | | | | | m = 0,8 | |

Onde:

e = espessura

d = densidade

*Parede: $0,19/2 \times 1200 \times 1 = 114 \text{ kg/m}^2$

**Piso: $0,10 \times 2200 \times 1 = 110 \text{ kg/m}^2$

***Cobertura, considerando o forro de pinus e a telha cerâmica:

Forro: $0,02/2 \times 525 \times 1 = 5,25 \text{ kg/m}^2$

Telha: $0,01/2 \times 1880 \times 1 = 9,4 \text{ kg/m}^2$

Para densidade da parede de bloco cerâmico estrutural consultar:

Norma ABNT NBR 15220-2: 2005

Para densidade da telha cerâmica consultar:

BUENO, A.D.; DA CUNHA NETO, J.A.B.; Determinação de propriedades relacionadas à transferência de massa em telhas cerâmicas. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/106-DeterminacaoPropriedadesFisicas.pdf>>, com acesso em julho de 2009.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$t_e = 23,8^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i\text{ máx}}$

$$t_{i\text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,8) 7,6 + (1 - 0,8) \cdot 11,4$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + 1,52 + 2,28$$

$$t_{i\text{ máx}} = 27,6^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i\text{ máx.}} = 27,6^\circ\text{C}$

- Umidade relativa do ar – **UR** = **76%**

- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = **24,2 °C**

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

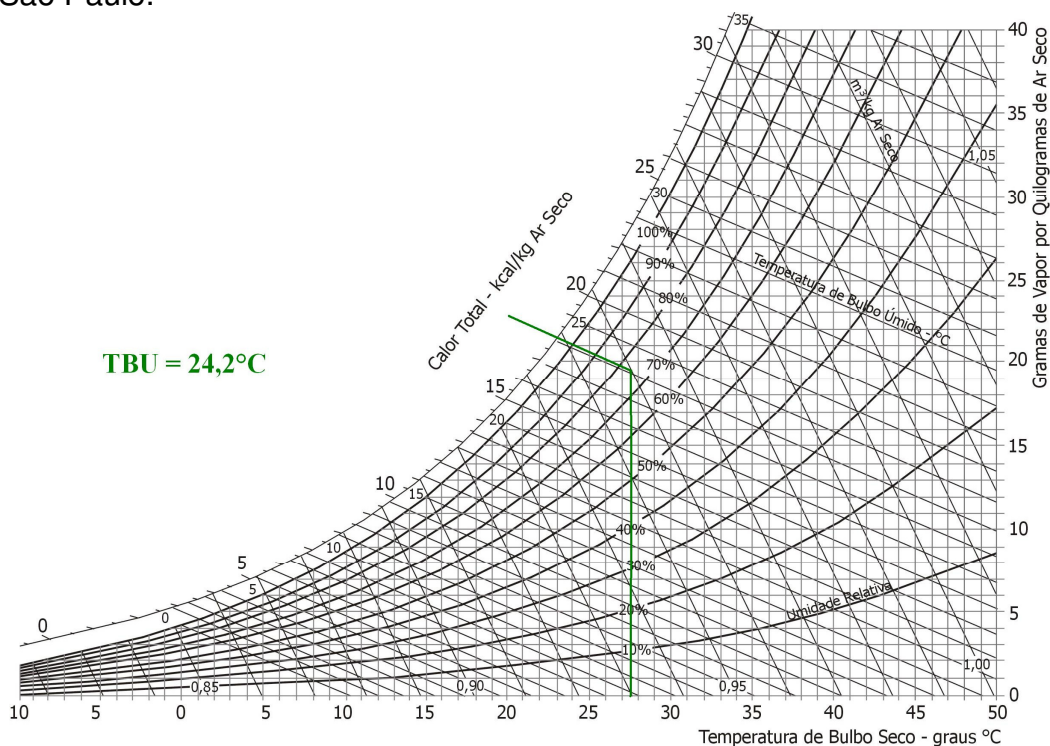


Figura 45: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 04. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 71, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5$ m/s, a TE é $25,1^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1$ m/s, a TE é $24,4^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5$ m/s, a TE é $24,0^\circ\text{C}$.

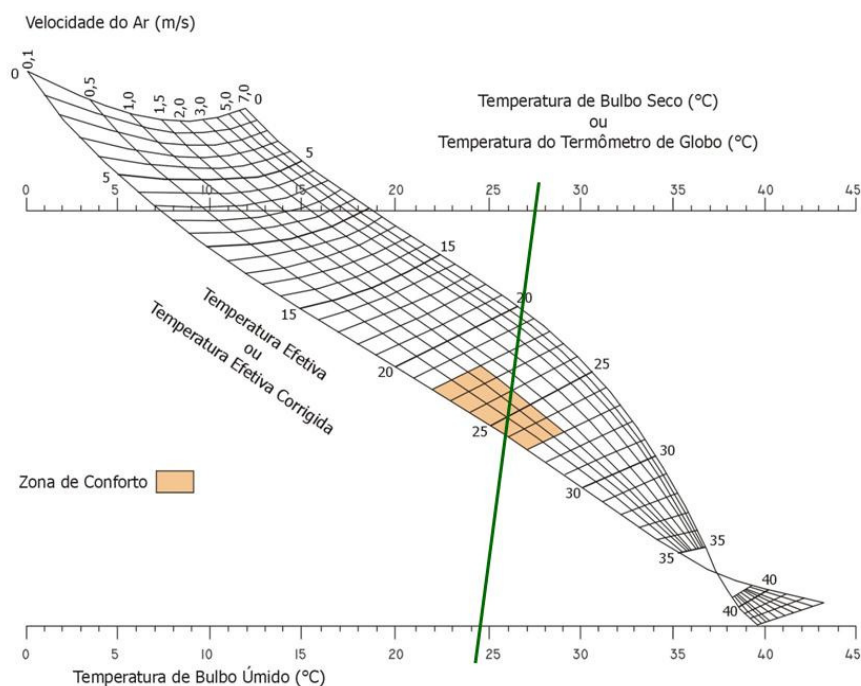


Figura 46: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 04. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 11,4 \cdot (1 - 0,8) = 2,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 2,28)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,14$$

$$\Phi_c = 0,108 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,108 \times 3600$$

$$\Phi_c = 388,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V \quad N = 388,8/79,80 \quad N = 4,8/\text{h}$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.5.5 ALTERNATIVA 05

Aplicar uma manta de lã de vidro sob as telhas.

Cálculo da Transmitância térmica – U

O memorial de cálculos da transmitância térmica (U) dos componentes envoltórios do ambiente analisado (Caso 02 – Alternativa 05) se encontra nos Apêndices ao final deste documento. Abaixo será apresentado o valor final para a transmitância térmica atribuída a cobertura com o ajuste feito pela aplicação da manta de lã de vidro sob as telhas.

Transmitância térmica da cobertura

Telha cerâmica tipo romana, manta de lã de vidro sob as telhas, câmara de ar não ventilada e forro de madeira de pinus.

Resistência térmica:

$$R_t = 0,3485 + 0,075/0,045$$

$$R_t = 0,3485 + 1,67$$

$$R_t = 2,0185 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 2,0185 + 0,04$$

$$R_T = 2,2285 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = 1/R_T = 1/2,2285 = \mathbf{0,45 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

Tabela 42: Valores da transmitância térmica do componente modificado – Alternativa 05.

| Componente | Descrição | Transmitância térmica (U) |
|------------|---|---|
| Cobertura | Telha cerâmica de barro, manta de lã de vidro sob as telhas, com câmara de ar não ventilada e forro de madeira de pinus | - Para fluxo ascendente (perdas de calor): $\mathbf{U = 3,84 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$ - Para fluxo descendente (ganhos de calor): $\mathbf{U = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$ |

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas SW, NW e SE.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot K \cdot R_{se} \cdot I_g$ (W)

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot S_{tr} \cdot I_g$ (W)

Tabela 43: Cálculo dos ganhos de calor do componente modificado – Alternativa 05.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor |
|------------|----------------------|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q_1 = 25,20 \cdot (0,80 \cdot 0,45)/20 \cdot I_g$ - $Q_1 = 0,45 I_g$ |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

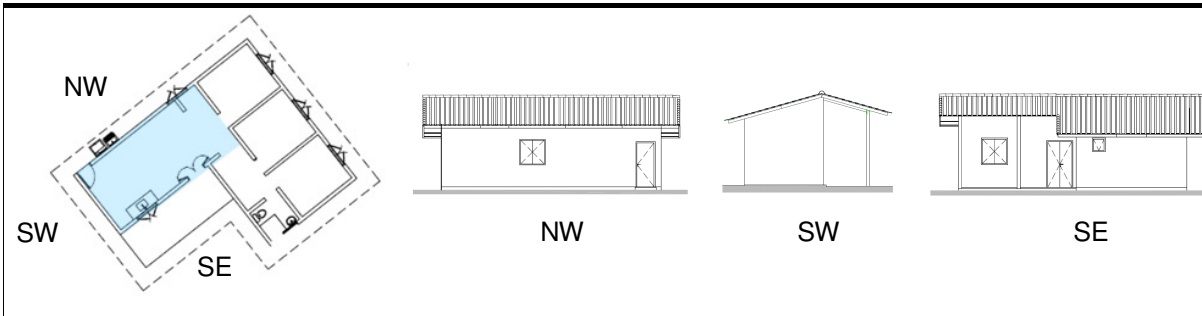
I_g = Intensidade da radiação solar global

A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

I_g = Intensidade da radiação solar global

Tabela 44: Planilha de ganhos de calor solar – Alternativa 05.



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|---|------|------|------|------|-----|------|------|-------------|------|------|
| Cobertura $Q_1=0,45I_g$ (W) | 255 | 360 | 443 | 497 | 513 | 497 | 443 | 360 | 255 | 130 |
| Parede SW $Q_2=0,85I_g$ (W) | 42 | 49 | 54 | 58 | 91 | 245 | 379 | 491 | 572 | 465 |
| Parede NW $Q_3=1,33I_g$ (W) | 66 | 77 | 84 | 90 | 86 | 299 | 458 | 541 | 548 | 398 |
| Porta 01 $Q_7=0,12I_g$ (W) | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 39 | 46 | 47 | 34 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g$ (W) | 23 | 27 | 29 | 32 | 31 | 147 | 234 | 282 | 288 | 208 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g$ (W) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 16 | 19 | 20 | 14 |
| Parede SE $Q_4=1,12I_g$ (W) | 754 | 647 | 500 | 323 | 120 | 76 | 71 | 65 | 56 | 43 |
| Porta 02 $Q_8=0,19I_g$ (W) | 121 | 102 | 76 | 46 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73I_g$ (W) | 466 | 392 | 293 | 175 | 45 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05I_g$ (W) | 32 | 27 | 20 | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 1765 | 1687 | 1506 | 1240 | 908 | 1318 | 1659 | 1820 | 1801 | 1303 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{\text{lamp}} + Q_{\text{gel}} + Q_{\text{fog}} + Q_{\text{sol}} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 1820$$

$$Q_{\text{total}} = 2412 \text{ W}$$

Perdas de calor devidas à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{\text{(op, tr)}} \cdot U \cdot \Delta t$ (w) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{\text{vent.}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (w) para perdas devidas à ventilação.

Tabela 45: Cálculo das perdas de calor por componente – Alternativa 05.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77 \Delta t$ (W) |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 24,36 \Delta t$ (W) |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 38,22 \Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 32,08 \Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50 \Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61 \Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63 \Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{\text{vent.}} = 139,65 \Delta t$ (W), para N = 5 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{\text{total}} = 355,82 \Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

Q'_{vent} = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{\text{op, tr}}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 2412 = 355,82\Delta t \quad \Delta t = 2412/355,82 \quad \Delta t = 6,7^\circ\text{C}$$

Determinação do fator de inércia

Inércia classificada como fraca, e o coeficiente de inércia $m = 0,6$.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$t_e = 23,8^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i \text{ máx}}$

$$t_{i \text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,6) 7,6 + (1 - 0,6) \cdot 6,7$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 23,8 + 3,04 + 2,68$$

$$t_{i \text{ máx.}} = 29,5^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – **TBS** = $t_{i \text{ máx.}} = 29,5^\circ\text{C}$

- Umidade relativa do ar – **UR** = 76%

- Temperatura de bulbo úmido – **TBU** = **25,7°C**

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

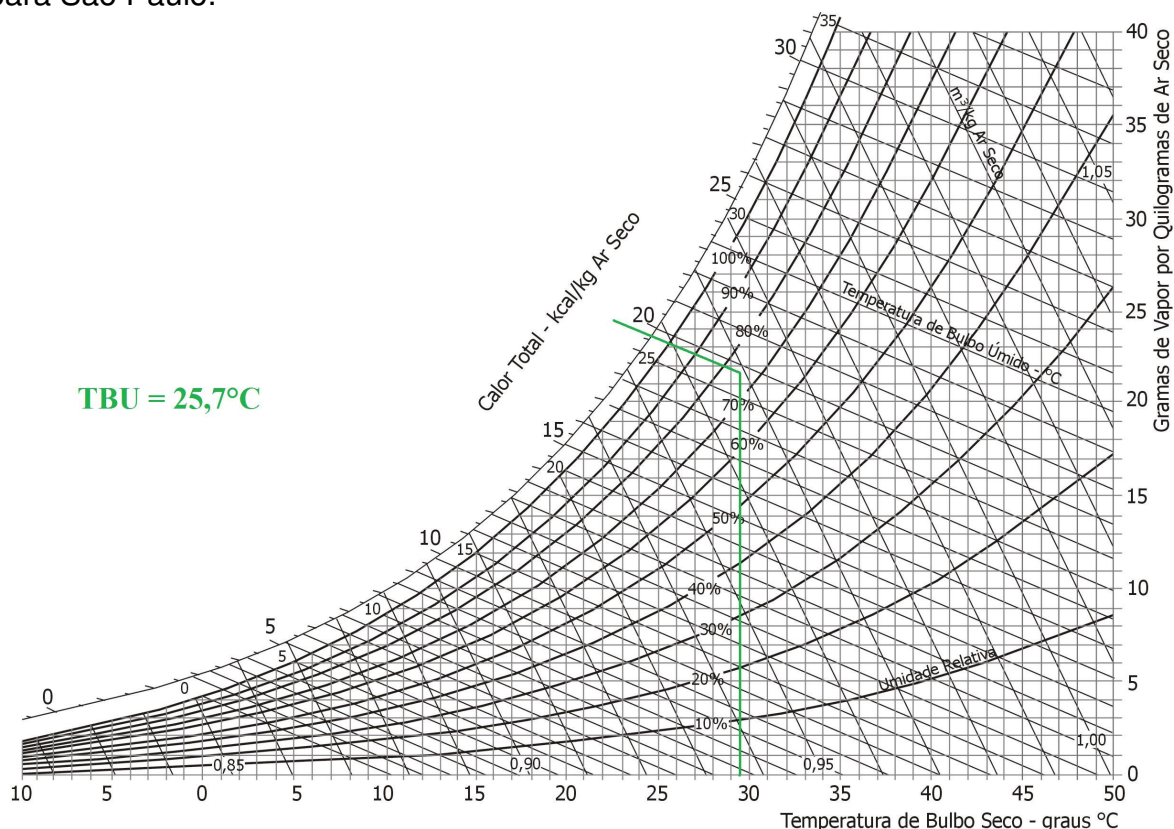


Figura 47: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 05. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 73, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5$ m/s, a TE é $26,7^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1$ m/s, a TE é $26,0^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5$ m/s, a TE é $25,2^\circ\text{C}$.

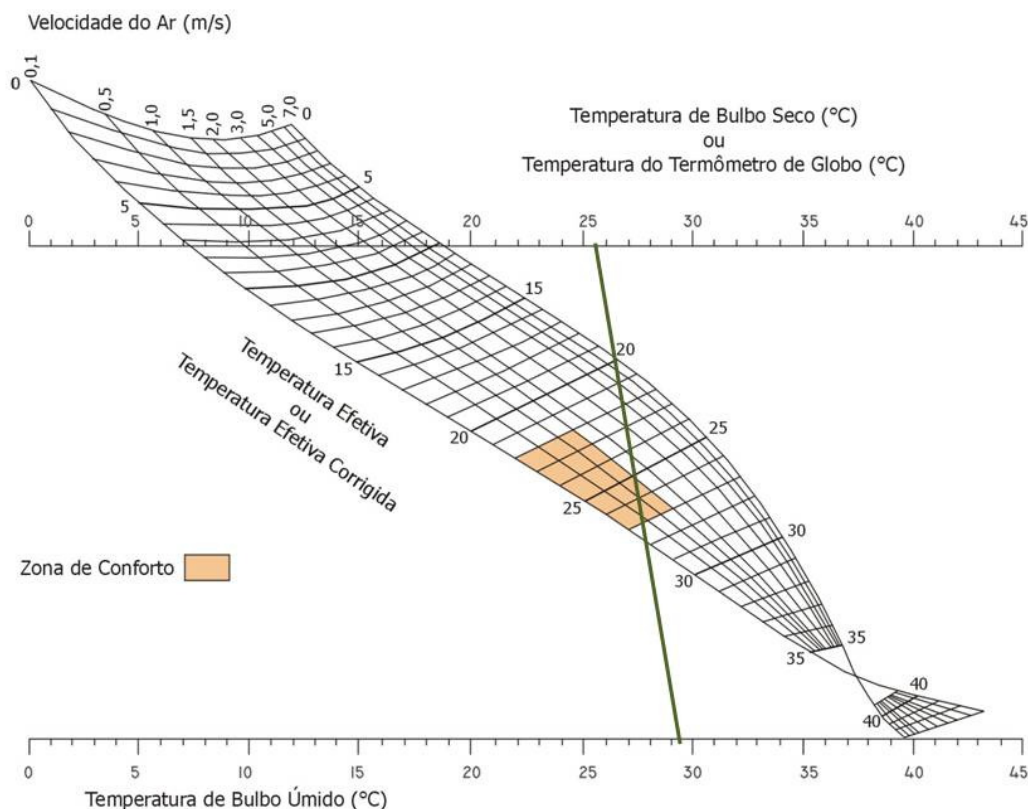


Figura 48: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 05. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 6,7 (1 - 0,6) = 2,68^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 2,68)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,23$$

$$\Phi_c = 0,117 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,117 \times 3600$$

$$\Phi_c = 421,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V$$

$$N = 421,2/79,80$$

$$N = 5,2/h$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

5.5.6 ALTERNATIVA 06

Trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento)

Cálculo da Transmitância térmica – U

Dados: Tijolo de solo-cimento (14 x 19 x 29 cm)²⁵

$$\lambda_{\text{solo-cimento}} = 0,65 \text{ W/(m.K)}$$

$$\rho_{\text{solo-cimento}} = 1655 \text{ Kg/m}^3$$

Resistência térmica:

$$R_t = 0,14/0,65 \quad R_t = 0,2153 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,2153 + 0,04 \quad R_T = 0,3853 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Transmitância térmica: $U = 1/R_T = 1/0,3853 = \mathbf{2,59 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$

Tabela 46: Valores da transmitância térmica do componente modificado – Alternativa 06.

| Componente | Descrição | Transmitância térmica (U) |
|------------|--|-------------------------------------|
| Paredes | Tijolo de solo-cimento estrutural aparente | U = 2,59 W/(m².K) |

Cálculo dos ganhos de calor – Cozinha: fachadas SW, NW e SE.

Fórmula para superfícies opacas: $Q_{op} = A_{op} \cdot \alpha \cdot K \cdot R_{se} \cdot I_g \text{ (W)}$

Fórmula para superfícies transparentes: $Q_{tr} = A_{tr} \cdot S_{tr} \cdot I_g \text{ (W)}$

Tabela 47: Cálculo dos ganhos de calor do componente modificado – Alternativa 06.

| Componente | Área total | Cálculo dos ganhos de calor | |
|------------|----------------------|--|---|
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q_2 = 11,60 \cdot (0,70 \cdot 2,59)/20 \cdot I_g$ | Q₂ = 1,05 I_g |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q_3 = 18,20 \cdot (0,70 \cdot 2,59)/20 \cdot I_g$ | Q₃ = 1,65 I_g |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q_4 = 15,28 \cdot (0,70 \cdot 2,59)/20 \cdot I_g$ | Q₄ = 1,38 I_g |

Onde:

$Q_{op, tr}$ = Carga Térmica para superfícies opacas, transparentes

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas, transparentes

α = Absortância à radiação solar

R_{se} = Resistência térmica superficial externa (símbolo adaptado de acordo com a NBR 15220-2)

I_g = Intensidade da radiação solar global

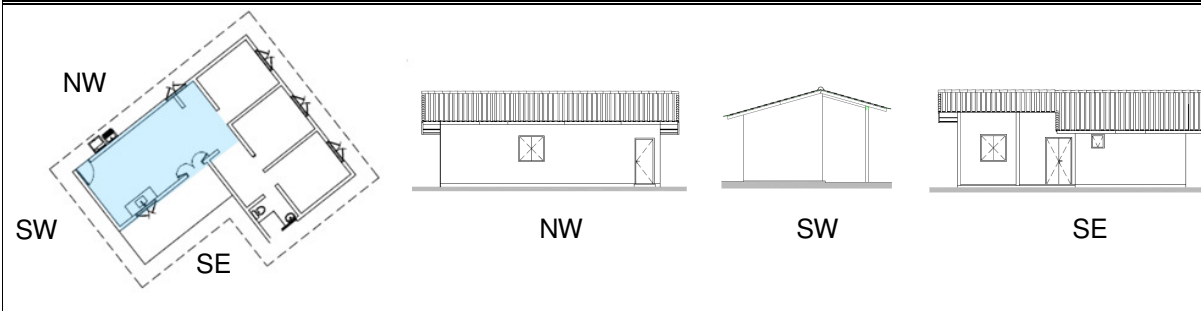
A_{tr} = Área da superfície transparente

FS_t = Fator solar de elemento transparente

I_g = Intensidade da radiação solar global

²⁵ MILANI, A. P. da S.; FREIRE, W. J.. **Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica**. Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 11, p. 23-30, abril, 2008.

Tabela 48: Planilha de ganhos de calor solar – Alternativa 06.



| Planilha | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| Cobertura $Q_1=1,80lg (W)$ | 1020 | 1442 | 1773 | 1989 | 2052 | 1989 | 1773 | 1442 | 1020 | 520 |
| Parede SW $Q_2=1,05lg (W)$ | 38 | 44 | 47 | 51 | 93 | 287 | 449 | 590 | 692 | 563 |
| Parede NW $Q_3=1,65lg (W)$ | 53 | 61 | 66 | 73 | 69 | 332 | 530 | 637 | 650 | 470 |
| Porta 01 $Q_7=0,12lg (W)$ | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 24 | 39 | 46 | 47 | 34 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 23 | 27 | 29 | 32 | 31 | 147 | 234 | 282 | 288 | 208 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 | 16 | 19 | 20 | 14 |
| Parede SE $Q_4=1,38lg (W)$ | 880 | 741 | 555 | 331 | 84 | 28 | 26 | 23 | 21 | 15 |
| Porta 02 $Q_8=0,19lg (W)$ | 121 | 102 | 76 | 46 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Janela (vidros) $Q_5=0,73lg (W)$ | 466 | 392 | 293 | 175 | 45 | 15 | 14 | 12 | 11 | 8 |
| Janela (mad.) $Q_6=0,05lg (W)$ | 32 | 27 | 20 | 12 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totais/ Hora (W) | 2639 | 2842 | 2866 | 2716 | 2396 | 2837 | 3086 | 3055 | 2753 | 1835 |

* Os dados de Radiação Solar Incidente (lg) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²) para a latitude de 20° Sul se encontram no Anexo 1 ao final deste documento.

Ganhos de calor devido à radiação solar incidente, à ocupação (calor sensível) e ao calor gerado internamente por equipamentos, considerando o mesmo perfil de ocupação do Caso 02.

Total de ganhos de calor

$$Q_e + Q_{lamp} + Q_{gel} + Q_{fog} + Q_{sol} = 260 + 92 + 90 + 60 + 90 + 3055$$

$$Q_{total} = 3647 W$$

Perdas de calor devido à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)

$Q' = A_{(op, tr)} \cdot U \cdot \Delta t$ (W) para superfícies opacas e para superfícies transparentes e translúcidas.

$Q'_{vent.} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t$ (W) para perdas devido à ventilação.

Tabela 49: Cálculo das perdas de calor por componente – Alternativa 06.

| Componente | Área (m ²) ou volume (m ³) | Cálculo das perdas de calor |
|---------------------------------|--|---|
| Cobertura | 25,20 m ² | $Q'_1 = 96,77\Delta t$ (W) |
| Parede SW | 11,60 m ² | $Q'_2 = 30,04\Delta t$ (W) |
| Parede NW | 18,20 m ² | $Q'_3 = 47,14\Delta t$ (W) |
| Parede SE | 15,28 m ² | $Q'_4 = 39,57\Delta t$ (W) |
| Janelas | 2,71 m ² | $Q'_5 = 15,50\Delta t$ (W) |
| Porta 01 | 1,48 m ² | $Q'_7 = 3,61\Delta t$ (W) |
| Porta 02 | 2,31 m ² | $Q'_8 = 5,63\Delta t$ (W) |
| Ventilação | 79,80 m ³ | $Q'_{vent.} = 111,72\Delta t$ (W), para N = 4 |
| Total de perdas de calor | | $Q'_{total} = 349,98\Delta t$ (W) |

Onde:

Q' = Carga Térmica

$Q'_{vent.}$ = Carga Térmica para perdas devida à ventilação

$A_{op, tr}$ = Área de superfícies opacas e transparentes

U = Transmitância térmica

Δt = Diferença entre a temperatura do ar interno e externo

N = Frequência horária da ventilação

V = Volume

Balço Térmico (ganhos = perdas)

$$Q = Q' \quad 3647 = 349,98\Delta t \quad \Delta t = 3647/349,98 \quad \Delta t = 10,4^\circ\text{C}$$

Para determinação do fator de inércia

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de superfície equivalente pesada – que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes internas, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos – em relação à área do piso do local.

Tabela 50: Determinação do fator da inércia térmica do ambiente – Caso 02 – Alternativa 04.

| Para determinação do fator de inércia | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Elementos construtivos da envoltória | Área (m ²) | Peso e/2 x d x 1 (kg/m ²) | Resistência térmica do revestimento (m.K/W) | Coeficiente da resistência térmica do revestimento | Área x Coeficiente da resistência térmica do revestimento (m ²) | Superfície equivalente pesada / área do piso |
| Parede NW | 18,20 | 115,85* | 0 | 2/3 | 12,13 | 2,24 |
| Parede SW | 11,60 | | | | 7,73 | |
| Parede NE | 15,28 | | | | 10,18 | |
| Parede SE | 9,92 | | | | 6,61 | |
| Piso | 23,26 | 110** | 0 | 0 | 15,50 | |
| Cobertura (forro + telha) | 25,20 | 14,65*** | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | Superfície equivalente pesada | 52,15 |
| Classificação da inércia térmica (ver Anexo B) | | | | | | Coeficiente de inércia |
| Inércia média | | | | | | m = 0,8 |

Onde:

e = espessura

d = densidade

*Parede: $0,14/2 \times 1655 \times 1 = 115,85 \text{ kg/m}^2$

**Piso: $0,10 \times 2200 \times 1 = 110 \text{ kg/m}^2$

***Cobertura, considerando o forro de pinus e a telha cerâmica:

Forro: $0,02/2 \times 525 \times 1 = 5,25 \text{ kg/m}^2$

Telha: $0,01/2 \times 1880 \times 1 = 9,4 \text{ kg/m}^2$

Para densidade da parede de solo-cimento consultar:

MILANI, A. P. S. & FREIRE W. J. Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 11, p. 23-30, Abril, 2008.

Disponível em: < http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N11.pdf>

Para densidade da telha cerâmica consultar:

BUENO, A.D.; DA CUNHA NETO, J.A.B.; Determinação de propriedades relacionadas à transferência de massa em telhas cerâmicas. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/106-DeterminacaoPropriedadesFisicas.pdf>>, com acesso em julho de 2009.

Cálculo da temperatura externa média - t_e e Elongação - E

$$t_e = 23,8^\circ\text{C}$$

$$E = 7,6^\circ\text{C}$$

Onde:

t_e = Temperatura externa média

E = Elongação

Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{i\text{ máx}}$

$$t_{i\text{ máx.}} = t_e + (1 - m) E + (1 - m) \cdot \Delta t$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + (1 - 0,8) 7,6 + (1 - 0,8) \cdot 10,4$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 23,8 + 1,52 + 2,08$$

$$t_{i\text{ máx.}} = 27,4^\circ\text{C}$$

Cálculo da temperatura efetiva (TE)

Dados necessários para calcular a TE:

- Temperatura de bulbo seco – TBS = $t_{i\text{ máx.}} = 27,4^\circ\text{C}$

- Umidade relativa do ar – UR = 76%

- Temperatura de bulbo úmido – TBU = $24,9^\circ\text{C}$

A temperatura de bulbo úmido pode ser calculada através da carta psicrométrica para São Paulo.

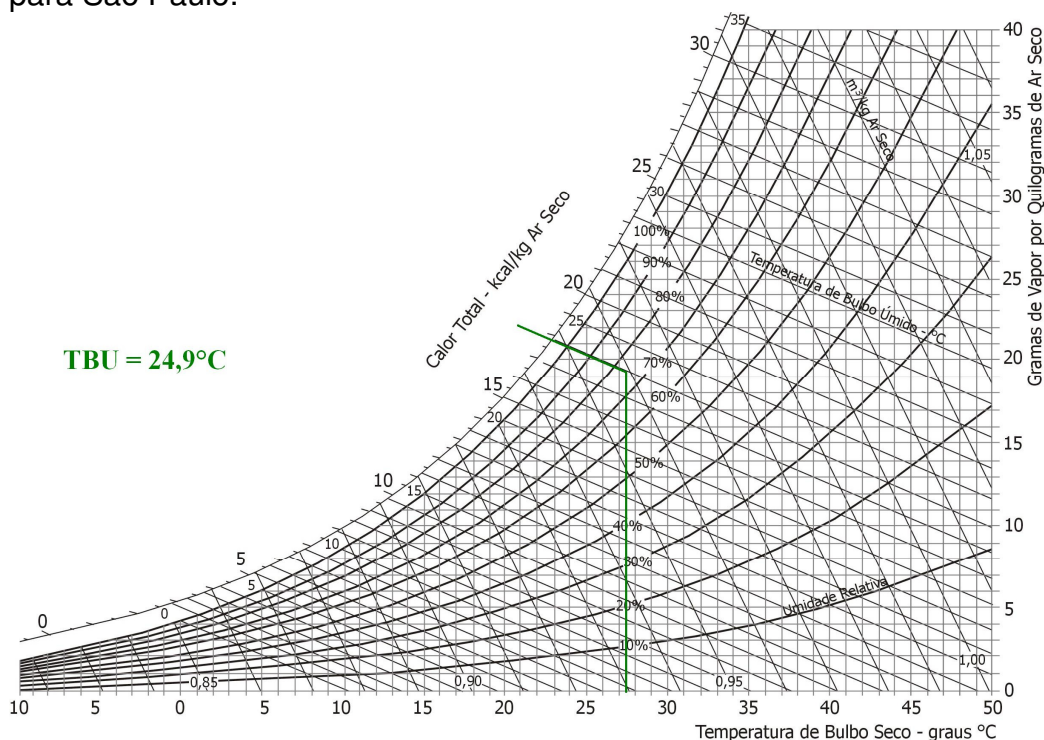


Figura 49: Carta Psicrométrica para a cidade de São Paulo – Alternativa 06. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

De posse desses dados, calcula-se a Temperatura Efetiva TE através do Nomograma, segundo mostra a figura 75, e obtêm-se diferentes valores de acordo com a velocidade do vento. Para $v_0 = 0,5$ m/s, a TE é $25,2^\circ\text{C}$, para $v_0 = 1$ m/s, a TE é $24,4^\circ\text{C}$ e para $v_0 = 1,5$ m/s, a TE é $23,7^\circ\text{C}$.

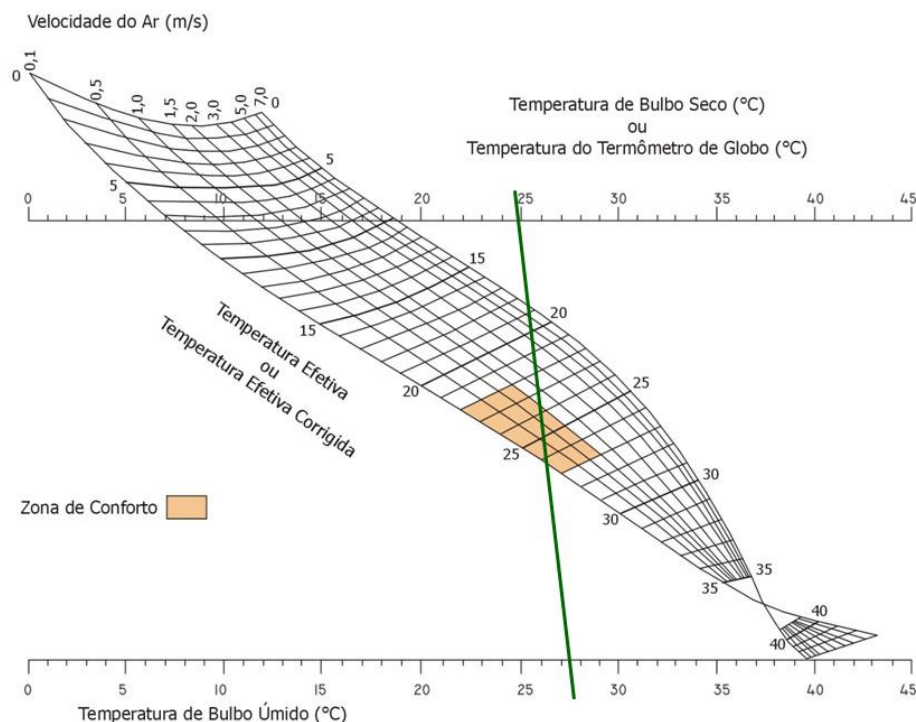


Figura 50: Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve – Alternativa 06. Fonte: FROTA & SCHIFFER, 2000.

Verificação da ventilação por Efeito Chaminé

$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot (H \cdot \Delta t_1)^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t (1 - m) = 10,4 (1 - 0,8) = 2,08^\circ\text{C}$$

$$A_e = (1,18 \cdot 1,15)/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,68 \text{ m}^2$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot (0,57 \cdot 2,08)^{1/2}$$

$$\Phi_c = 0,14 \cdot 0,68 \cdot 1,08$$

$$\Phi_c = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,098 \times 3600$$

$$\Phi_c = 360 \text{ m}^3/\text{h}$$

Então, a taxa horária de ventilação será obtida com a divisão do fluxo (em m³/s) pelo volume do recinto (em m³)

$$N = \Phi_c/V$$

$$N = 360/79,80$$

$$N = 4,5/h$$

Onde:

Φ_c = Fluxo de ar por efeito chaminé

A = Amplitude de temperatura

A_e = Área de entrada do ar (mais baixa)

A_s = Área de saída do ar (mais alta)

H = Altura média da área de abertura

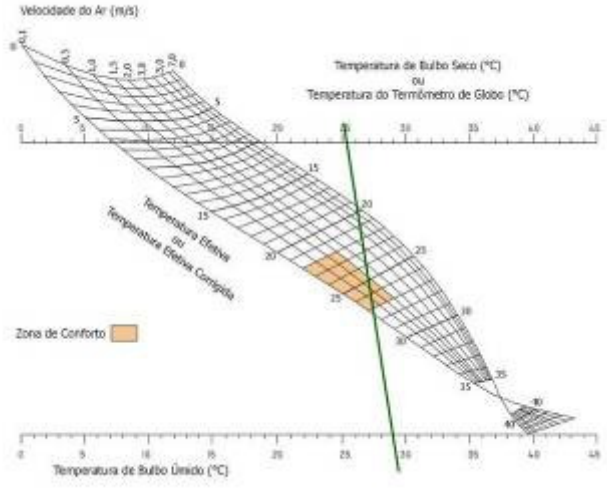
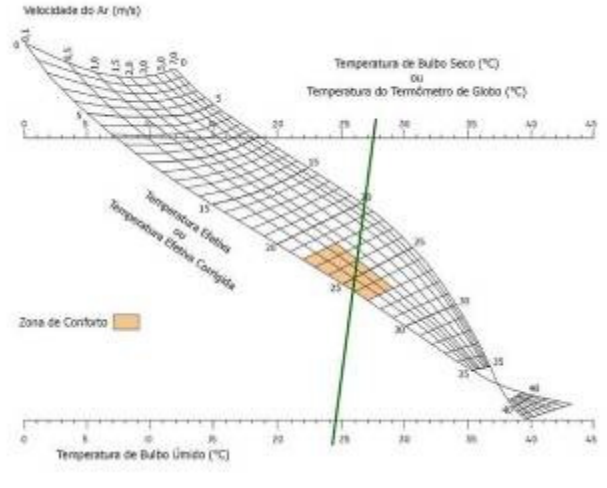
Δt_1 = Δt calculado no item balanço térmico afetado do fator de inércia.

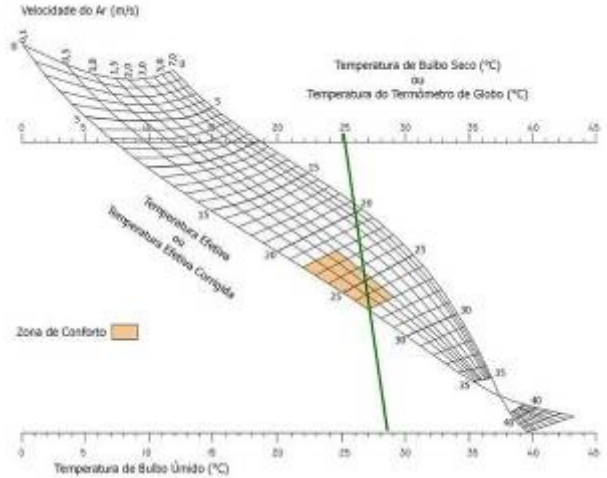
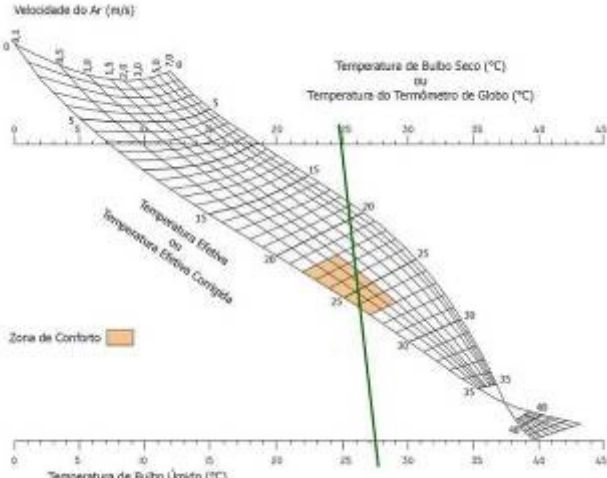
V = Volume

N = Frequência horária da ventilação

Quadro 3: Quadro síntese de resultados da aplicação das alternativas – Caso 02

| QUADRO SÍNTESE DE RESULTADOS DA APLICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS – CASO 02 | | |
|---|--|-----------|
| Objetivo: Comparar os resultados obtidos para então avaliar os prós e os contras de se aplicar tais soluções no contexto analisado. | | |
| Alternativas | Resultados | Nomograma |
| 01 – Usar a orientação de implantação do Caso 01 para o Caso 02. | Esta alternativa foi aplicada para que os Casos 01 e 02 tivessem as mesmas condições de exposição à incidência de radiação solar. Desta maneira, poderiam ser submetidos a uma avaliação comparativa de desempenho térmico em situações equivalentes. Percebe-se na imagem ao lado que o resultado não se alterou muito da situação real de implantação, isso se deve ao fato de que ambos os casos possuem duas de suas três fachadas externas voltadas para as orientações SW e NW e, portanto, possuem situações similares de implantação em relação ao norte geográfico. | |
| 02 – Aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas. | Na alternativa 02, com o aumento da área de abertura em 0,23 m ² , verificou-se uma pequena melhora nos resultados. Na alternativa 01 apenas a velocidade de 1,5 m/s apresenta temperatura efetiva dentro da zona de conforto térmico. Já na alternativa 02 as velocidades de 1,0 e 1,5 m/s estão dentro da zona de conforto térmico, de acordo com o Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve. A velocidade de 0,5 m/s não apresenta resultado satisfatório em nenhum dos dois casos analisados. | |

| | | |
|--|---|--|
| <p>03 – Pintar as paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) de cores claras.</p> | <p>A alternativa 03 se caracteriza por ser uma opção simplificada de interferência posterior a construção da edificação. Uma solução pós-fato que apresentou ótimos resultados frente à problemática aqui trabalhada. A pintura em cores claras dos componentes cobertura e paredes externas tornou o ambiente termicamente mais confortável atingindo a zona de conforto térmico do Nomograma de temperatura efetiva para pessoas normalmente vestidas e em trabalho leve nas 3 velocidades do ar, 0,5, 1,0 e 1,5 m/s. Esta alternativa possibilitou a diminuição dos ganhos de calor no ambiente pela incidência da radiação solar.</p> |  <p>Velocidade do Ar (m/s)</p> <p>Temperatura de Bulbo Seco (°C) ou Temperatura do Termômetro de Globo (°C)</p> <p>Temperatura Efetiva ou Temperatura Efetiva Confortável</p> <p>Zona de Conforto</p> <p>Temperatura de Bulbo Úmido (°C)</p> |
| <p>04 – Aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas.</p> | <p>Verificou-se que a alternativa 04 apresentou resultado satisfatório, ou seja, as temperaturas efetivas para 0,5, 1,0 e 1,5 m/s estão dentro da zona de conforto térmico. A mudança da espessura de 14 para 19 cm do bloco cerâmico estrutural da fachada SW não apresentou grande diferença nos ganhos e perdas de calor por este componente, mas mudou o fator de inércia de fraca para média, tendo interferência direta no valor calculado para a temperatura interna máxima no ambiente. A diminuição da temperatura interior tornou o ambiente termicamente mais confortável.</p> |  <p>Velocidade do Ar (m/s)</p> <p>Temperatura de Bulbo Seco (°C) ou Temperatura do Termômetro de Globo (°C)</p> <p>Temperatura Efetiva ou Temperatura Efetiva Confortável</p> <p>Zona de Conforto</p> <p>Temperatura de Bulbo Úmido (°C)</p> |

| | | |
|--|---|---|
| <p>05 – Aplicar uma manta de lã de vidro sob as telhas.</p> | <p>Considerando que a cobertura é o componente responsável pelos maiores ganhos de calor no ambiente, por ter maior área de superfície em contato com a incidência da radiação solar, pensou-se nesta alternativa 05 como uma possibilidade de amenizar este impacto. Os resultados foram plenamente satisfatórios. A aplicação da manta de lã de vidro diminuiu consideravelmente o valor resultante da diferença entre a temperatura interna e externa, o chamado balanço térmico, influenciando diretamente na diminuição da temperatura interna máxima.</p> |  <p>The psychrometric chart for Alternative 05 shows the relationship between air velocity (0 to 4 m/s), dry bulb temperature (0 to 45 °C), globe thermometer temperature (0 to 45 °C), and wet bulb temperature (0 to 40 °C). A vertical green line indicates the initial environmental state at approximately 28 °C dry bulb and 20 °C wet bulb. A horizontal orange shaded area represents the 'Zona de Conforto' (comfort zone) between 25 °C and 27 °C dry bulb and 18 °C and 22 °C wet bulb. A second vertical green line shows the state after the insulation, shifted to approximately 25 °C dry bulb and 18 °C wet bulb, which falls within the comfort zone.</p> |
| <p>06 - Trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento)</p> | <p>A alternativa 06 apresentou ótimo resultado para o conforto térmico no ambiente analisado. A troca do bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento possibilitou, assim como na alternativa 04, mudar o fator de inércia de fraca para média, tendo interferência direta no valor calculado para a temperatura interna máxima no ambiente. A diminuição da temperatura interior tornou o ambiente termicamente mais confortável.</p> |  <p>The psychrometric chart for Alternative 06 shows the same axes as the previous chart. The initial environmental state (vertical green line) is at approximately 28 °C dry bulb and 20 °C wet bulb. The 'Zona de Conforto' (orange shaded area) is between 25 °C and 27 °C dry bulb and 18 °C and 22 °C wet bulb. The final environmental state after the brick replacement (vertical green line) is shifted to approximately 25 °C dry bulb and 18 °C wet bulb, falling within the comfort zone.</p> |

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a contribuição da aplicação de métodos simplificados de avaliação de desempenho térmico de edificações na incorporação de recomendações em projetos arquitetônicos e definição de implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais, tendo como objeto empírico as habitações do assentamento rural Sepé Tiaraju, em Serra Azul-SP.

Primeiramente, elaborou-se um diagnóstico climático da área de estudo por meio do software ARQUITROP 3.0 e de referências bibliográficas, onde se procurou contextualizar as especificações climáticas regionais e do microclima do assentamento para entender a que condições climáticas as edificações avaliadas estariam expostas. Levou-se também em consideração a percepção dos moradores que ficaram acampados cerca de 4 anos e meio no local até o seu assentamento formal. Entende-se que num processo participativo de construção de habitações de interesse social, o envolvimento das famílias aumenta os laços de pertencimento e aceitação das moradias.

Como a pesquisa propôs a aplicação de métodos de avaliação de desempenho térmico usando dados de uma realidade social, tornou-se imperativo a descrição do objeto empírico. O Capítulo 3 tratou da descrição do Projeto Sepé Tiaraju, traçando uma análise de todo o processo de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação das habitações do assentamento e identificou as potencialidades das variáveis adotadas para busca de melhor qualidade e satisfação das famílias envolvidas.

A partir da análise deste processo, escolheram-se duas tipologias habitacionais representativas do Sepé Tiaraju para avaliação comparativa de desempenho térmico. Um dos objetivos específicos da pesquisa era comparar o desempenho térmico da aplicação de diferentes sistemas construtivos. E como a tipologia de 3 quartos com varanda é a única a ter como material construtivo o adobe, esta foi a tipologia escolhida para ser submetida à avaliação (Caso 01). Comparou-se a casa de adobe com outra de mesmo projeto arquitetônico em bloco

cerâmico estrutural (Caso 02), escolha predominante da grande maioria das famílias, 72 das 77 famílias.

A presente pesquisa apresentou duas ferramentas auxiliares para elaboração de projetos arquitetônicos e definição de implantação de edificações de acordo com as condições climáticas locais, a ABNT NBR 15220-3 e o método de cálculos do C.S.T.B.. São métodos usados para se avaliar o desempenho térmico de componentes construtivos. Entretanto, a primeira ferramenta analisa o componente isoladamente, enquanto a segunda analisa o ambiente como um todo considerando a interação de todos os seus componentes construtivos e variáveis que interferem nas trocas de calor entre o meio externo e interno e entre o meio interno e o usuário.

As duas ferramentas possuem sua devida importância de acordo com o objetivo que se pretende atingir, o tempo e os condicionantes de que se tem domínio ou não numa dada situação a que estas sejam aplicadas.

6.1 A verificação de enquadramento na ABNT NBR 15220-3

A ABNT NBR 15220-3 oferece diretrizes limitadas para orientar as escolhas de componentes construtivos e estratégias de condicionamento térmico passivo que se adequem a determinada zona bioclimática brasileira, mas que, a um primeiro momento, auxilia o projetista a não incorrer em erros primários. Ela apresenta uma gama de opções de combinações de componentes para paredes e coberturas tradicionalmente usadas no Brasil com seus valores para transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar que permite com que se selecionem as melhores opções de acordo com as características climáticas do local do projeto.

Esta norma ainda permite que se calculem as propriedades térmicas de sistemas construtivos previamente escolhidos através de sua parte 2, “Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações”, possibilitando assim com que se verifique o enquadramento de um projeto já consolidado. Como é o caso das habitações rurais analisadas nesta pesquisa. Como os componentes construtivos das tipologias do Sepé já haviam sido escolhidos e aplicados, usou-se a parte 2 da ABNT NBR 15220, para o cálculo da transmitância térmica dos elementos e componentes do ambiente sala/cozinha das tipologias do Sepé Tiaraju. O memorial

de cálculos se encontra nos apêndices A, B, C, D, E e F ao final do documento. Estes resultados foram importantes para a aplicação do método do C.S.T.B..

Em seguida, verificou-se o enquadramento das tipologias habitacionais selecionadas na norma brasileira ABNT NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse social, que, como apresentado, apresenta um método simplificado de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos.

Em posse destes dados, pode-se observar que as tipologias habitacionais atenderam parcialmente as especificações da norma. Para esta metodologia, a opção pelo uso do adobe, considerando o componente isoladamente, não atendeu os limites para transmitância térmica (U). Entretanto, os demais componentes do projeto, bem como as diretrizes de implantação e de aproveitamento de condicionamento térmico passivo se aproximaram das orientações sugeridas pela norma para a Zona Bioclimática 4, área de implantação do município de Serra Azul-SP.

Observou-se que esta ferramenta tem como proposta uma avaliação simplificada do desempenho térmico de componentes de acordo com determinada região climática. Mas que não deixa de configurar um passo importante da normatização brasileira, estabelecendo parâmetros básicos de conforto térmico a fim de auxiliar o projetista a não cometer erros primários.

6.2 A aplicação do método do C.S.T.B.

Procurando a aplicação de uma ferramenta para uma avaliação mais refinada do desempenho térmico das habitações selecionadas, realizou-se então uma revisão bibliográfica dos métodos simplificados de avaliação de desempenho térmico de edificações existentes no Brasil e exterior que considerasse a interação de todos os componentes construtivos e variáveis climáticas que interferem nas trocas de calor entre o meio externo e interno e entre o meio interno e o usuário.

O método escolhido foi o do C.S.T.B. - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, que considera a interação dos subsistemas construtivos na avaliação do desempenho térmico de um ambiente, com a influência direta das variáveis

climáticas locais associada às características inerentes da construção, como a diminuição de ganhos de calor solar através de sombreamentos de beirais.

No método do C.S.T.B. podem-se estudar os ganhos de calor solar numa situação real de implantação, ou as perdas de calor pela influência de sombreamentos nas fachadas, pela ventilação natural e pela inércia térmica das paredes, piso e cobertura. A ferramenta possibilita estudar outras formas de implantação, bem como a aplicação de adaptações de projeto até que se chegue a um resultado satisfatório pretendido.

O ambiente escolhido para avaliação comparativa foi a sala/cozinha, cômodo comum às duas unidades habitacionais escolhidas, apenas diferenciando quanto ao material construtivo de vedação, adobe (Caso 01) e bloco cerâmico estrutural (Caso 02), e quanto à orientação de implantação.

A aplicação do método de cálculos do C.S.T.B. apontou resultado insatisfatório para o Caso 02, casa de bloco cerâmico estrutural, ou seja, as temperaturas efetivas para 3 velocidades do vento (0,5, 1,0 e 1,5 m/s) não se enquadraram na Zona de Conforto Térmico do Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve (1977, KOENIGSBERGER apud FROTA & SCHIFFER, 2000 p. 179)

Diante de tal problemática, o passo seguinte foi o de propor alternativas de adaptação de projeto arquitetônico e definição de implantação para o Caso 02.

Primeiramente foi preciso igualar os dois Casos a condições equivalentes de ganhos de calor pela incidência da radiação solar para a latitude de 20° Sul, às 15h do dia típico de 22 de dezembro. Para então, em seguida estudar alternativas com o objetivo de melhorar termicamente o ambiente analisado. Foram elas:

- 01 – Usar a orientação de implantação do Caso 01 para o Caso 02.
- 02 – Aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas.
- 03 – Pintar as paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) de cores claras.
- 04 – Aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas.
- 05 – Aplicar uma manta de lã de vidro sob as telhas.

- 06 - Trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento)

Com o estudo de aplicação de 5 alternativas diferentes de adaptações de projeto considerando a mesma situação de ganhos de calor por incidência da radiação solar, pode-se observar melhoras das condições de desempenho térmico do ambiente, como visto na figura 76.

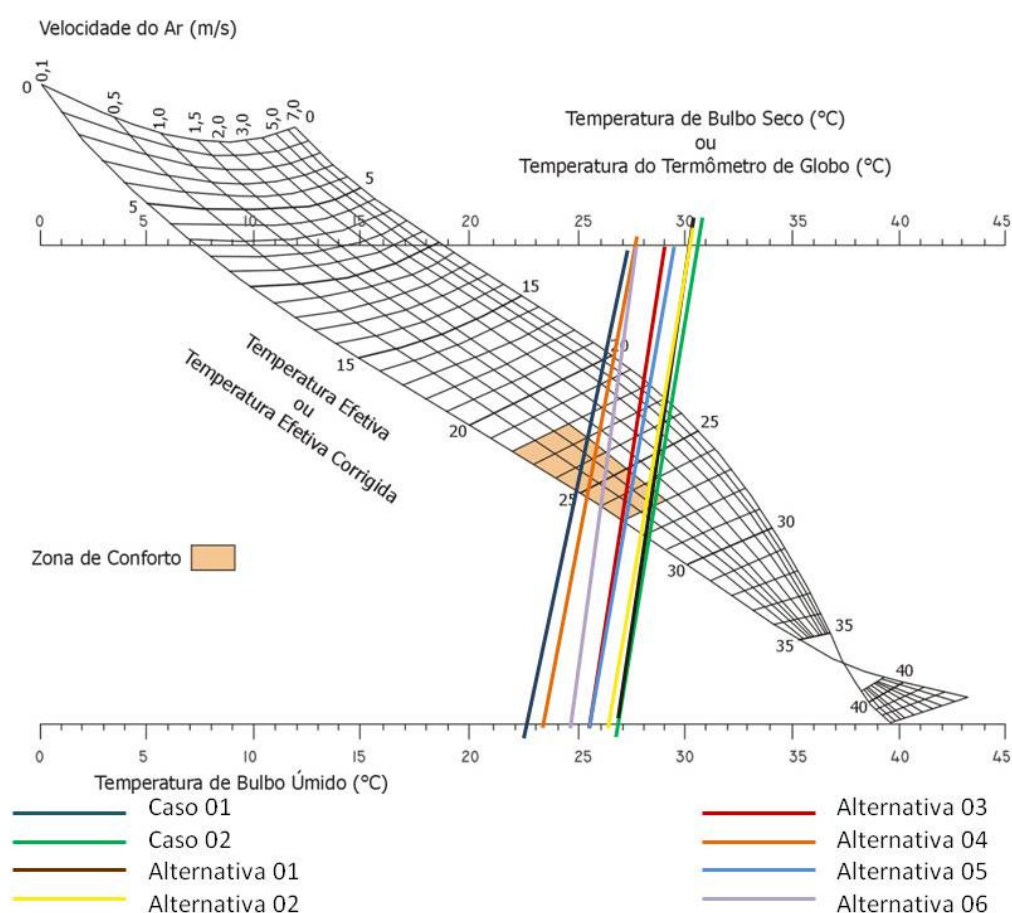


Figura 51: Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve com os resultados dos Casos 01 e 02 e de todas as alternativas aplicadas.

Fazendo uma análise das linhas representativas das situações avaliadas, observa-se que, de maneira geral, a maioria delas apresentou resultado satisfatório. Com exceção do Caso 02 e das Alternativas 01 e 02 que pouco melhoraram os resultados considerados insatisfatórios da casa de bloco cerâmico estrutural.

Entretanto, a Alternativa 01 foi extremamente importante por igualar os Casos 01 e 02 quanto às condições de ganhos de calor pela incidência da radiação solar.

Apesar da alteração da implantação da casa de bloco cerâmico não configurar a situação real de orientação da casa no assentamento Sepé Tiaraju, foi necessário tornar os Casos em condições equivalentes para efeito comparativo. Ainda assim, a alteração no resultado não foi significativa, como bem se observa pelas linhas verde e marrom da figura 51, elas praticamente se sobrepõem. Isto se deve ao fato de que ambos os casos possuem duas de suas três fachadas externas voltadas para as orientações SW e NW e, portanto, possuem situações similares de implantação em relação ao norte geográfico.

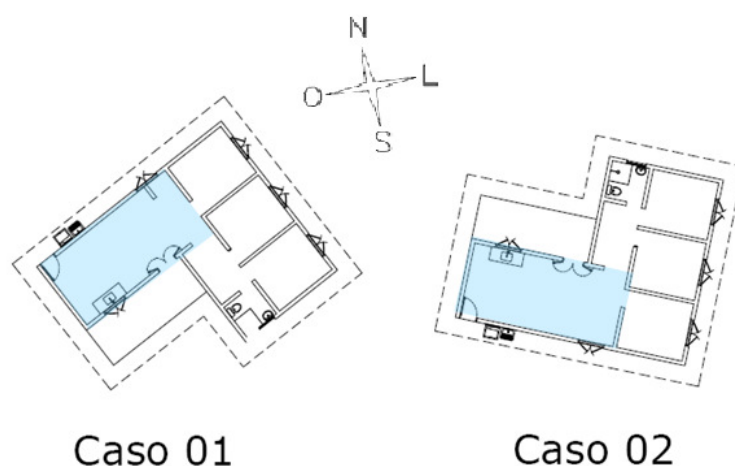


Figura 52: Implantação dos Casos 01 e 02 com destaque para o ambiente avaliado. Fonte: Grupo Habis, 2008.

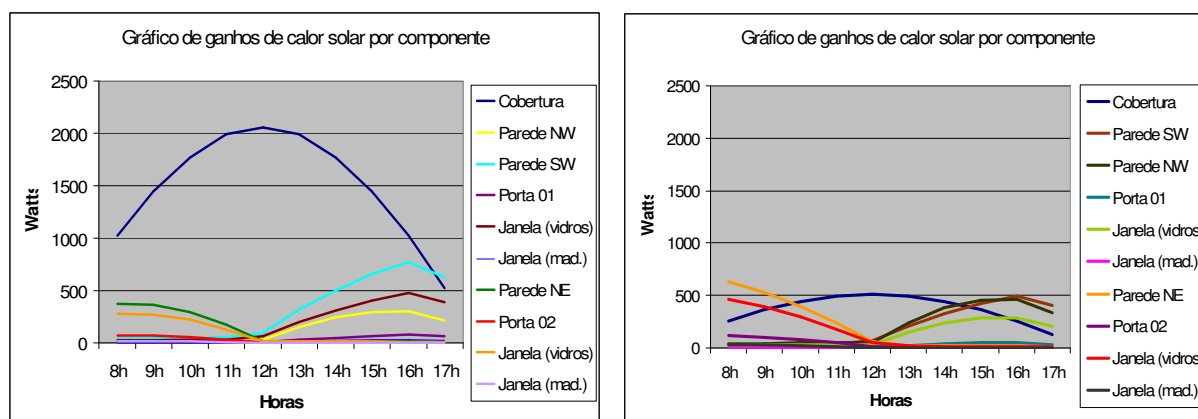
Já a alternativa 02, que propunha aumentar a capacidade de ventilação do ambiente (perdas de calor por ventilação), alterando as dimensões das janelas, apresentou melhoras sutis. Para esta situação ser considerada termicamente confortável, a velocidade do vento precisa estar entre 1,0 e 1,5 m/s. A velocidade de 0,5 m/s ainda não apresenta temperatura efetiva que se enquadre na zona de conforto térmico do Nomograma usado como parâmetro por esta pesquisa.

A Alternativa 03 que previa a pintura das paredes externas (cor branca – $\alpha = 0,2$) e a cobertura ($\alpha = 0,3$) em cores claras, apresentou resultado plenamente satisfatório, assim como as demais alternativas 04, 05 e 06. Esta opção destaca-se por ser uma proposta de intervenção posterior à obra, podendo ser aplicada em casos em que se pretenda melhorar termicamente um ambiente já construído ou com a impossibilidade de mudança projetual, como a troca de materiais construtivos ou alteração na orientação de implantação.

Diferentemente da Alternativa 04, cuja proposta foi a de aumentar a espessura do bloco cerâmico estrutural na fachada voltada para a orientação SW, responsável por maiores ganhos de calor às 15h pela incidência da radiação solar se comparada às demais fachadas. A mudança da espessura de 14 para 19 cm do bloco cerâmico estrutural da fachada SW não apresentou grande diferença nos ganhos e perdas de calor por este componente, mas mudou o fator de inércia de fraca para média, tendo interferência direta no valor calculado para a temperatura interna máxima no ambiente, que passou de 30,7°C para 27,6°C. A diminuição da temperatura interior tornou o ambiente termicamente mais confortável.

A Alternativa 05 pode ser melhor analisada através dos gráficos 3 e 4. A simulação de aplicação de uma manta de lã de vidro sob as telhas diminuiu consideravelmente os ganhos de calor por incidência da radiação solar por este componente. Esta Alternativa destaca-se por propor uma solução viável de adaptação pós-construção, assim como na Alternativa 03, porém com o trabalho de destelhamento e recolocação das telhas. Nos gráficos 3 e 4, a linha azul representa o ganho de calor solar para os ambientes do Caso 2 e Alternativa 05, respectivamente, pelo componente cobertura em uma escala de 0 a 2500 Watts. Observa-se grande diferença no comportamento das linhas.

Gráficos 3 e 4: Gráficos de ganhos de calor solar por componente do Caso 02 e Alternativa 05.



Conclui-se a lista de propostas de adaptações e/ou alterações projetuais para o Caso 02 com a Alternativa 06, cuja simulação visou trocar o bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento estrutural (92,5% de solo + 7,5% de cinza de casca de arroz, estabilizado com 10% de cimento), uma opção de sistema construtivo escolhida por uma das famílias do assentamento. A alternativa 06 apresentou resultado adequado para o conforto térmico no ambiente analisado. A

troca do bloco cerâmico estrutural pelo tijolo de solo-cimento possibilitou, assim como na alternativa 04, mudar o fator de inércia de fraca para média, tendo interferência direta no valor calculado para a temperatura interna máxima no ambiente de 30,7°C para 27,4°C. A diminuição da temperatura interior tornou o ambiente termicamente mais confortável e se aproximou do resultado apresentado pela linha representativa do Caso 01 – casa de adobe.

Baseado na análise feita, conclui-se que tal ferramenta se mostrou importante não só na fase de elaboração de projeto e definição de implantação, mas também em interferências posteriores à construção de edificações, podendo tornar o ambiente analisado termicamente mais confortável, como visto nas alternativas que sugeriram pintura externa dos componentes construtivos paredes e cobertura em cores claras, ou a aplicação de uma manta de lã de vidro sob as telhas.

De maneira geral, todas as alternativas ofereceram melhorias das condições de conforto para o ambiente analisado, umas se enquadraram totalmente na Zona de Conforto Térmico do método aplicado e outras parcialmente.

A pesquisa mostrou que os parâmetros relativos ao conforto ambiental são decisivos no sentido de estabelecer o desempenho térmico do projeto de arquitetura e urbanismo; entretanto, via de regra, sua importância só é constatada no dia a dia da edificação, no seu uso e com as alternâncias sazonais no decorrer do tempo. De fato, as variáveis ambientais como o sol, a chuva, o vento e o sistema construtivo como espessura de parede, altura do pé-direito, tipos de coberturas, posicionamento das edificações em relação ao norte geográfico, não são usualmente consideradas pela construção civil de um modo geral.

Freqüentemente, isso se deve ao fato de que a maioria dos métodos de avaliação de desempenho térmico existentes é complexa quanto ao entendimento e à aplicabilidade, dificultando a sua incorporação na rotina de trabalho de profissionais da construção civil. Exigindo a capacitação do arquiteto em métodos de análise computadorizado e a familiarização com equipamentos de medidas que o possibilite parametrizar adequadamente seu projeto.

Frente a esta condição, viu-se nesta pesquisa que, ainda assim, existem métodos simplificados de simulação de desempenho térmico e que a aplicação destas ferramentas pode auxiliar as escolhas de sistemas construtivos e o estudo de diferentes configurações espaciais de edificações considerando as condições climáticas locais. Cálculos simplificados podem a curto prazo avaliar o desempenho

térmico de escolhas projetuais feitas em conjunto e fornecer recomendações de projeto que contribuem para o enriquecimento do processo construtivo e da qualidade do produto requerido.

6.3 O projeto Sepé Tiaraju

No processo participativo de elaboração de projeto arquitetônico e implantação das 77 habitações do assentamento Sepé Tiaraju pouco se abordou sobre aspectos do conforto térmico no ato de se projetar essas moradias. Isto se deve ao fato de que os assessores técnicos e as famílias precisam ainda levar em consideração outras variáveis como o custo, a escolha de materiais cujos fornecedores estivessem próximos ao local, sistemas construtivos que se adequassem à realidade do meio rural e todas suas implicações, o tempo e a facilidade de execução associada à produção nos lotes.

Entretanto, verificou-se que um estudo simplificado das condições climáticas locais e da adequação das habitações projetadas a estas condições poderia contribuir para a melhoria da qualidade das moradias. Aspecto este que só será percebido quando as famílias estiverem morando em suas casas.

Ao se definir estratégias construtivas de acordo com o clima ao qual a edificação está inserida, permite-se não cometer erros que comprometam o desempenho térmico da edificação em relação ao seu meio. E o refinamento deste estudo pode contribuir ainda mais para a qualidade desta habitação.

Como visto no Capítulo 3, durante a escolha dos materiais construtivos e a definição da implantação das habitações do Sepé Tiaraju, os moradores estiveram constantemente preocupados em garantir o uso de materiais tidos como tradicionais, de maior conhecimento popular quanto à facilidade de compra e execução, mostrando terem pronta aversão ao uso de materiais “alternativos”, como o adobe (tijolo de terra crua).

Constatou-se também que o adobe associado a um revestimento externo isolante mostrou ser uma excelente opção para o clima em que as habitações do assentamento Sepé Tiaraju estão implantadas. Entretanto, a recusa pela utilização deste material pela grande maioria dos moradores do Sepé Tiaraju permeia questões culturais que foram difíceis de serem desmistificadas pela assessoria técnica do HABIS no momento de escolha da técnica construtiva que seria aplicada.

O adobe além de ser um material local e agregar maior economia em seu processo de fabricação se comparado aos outros materiais apresentados, ainda proporciona um aumento da área construtiva, por ser considerado como custo quase inexistente no orçamento geral da obra. Apesar destas vantagens, os moradores entenderam que esta técnica exigiria grande esforço físico para sua produção e maior tempo para finalização das casas já que muitos tinham urgência em sair de seus barracos.

Já o sistema de cobertura escolhido é inovador e de execução muito apropriada ao modo de construção em mutirão em assentamentos rurais, se utiliza de materiais renováveis e locais e atende às especificações da Norma NBR 15220-3. Este dado é bastante relevante, já que a área de cobertura exerce grande influência sobre os ganhos de calor por incidência da radiação solar nos ambientes analisados por ter a maior área de superfície de contato.

A concepção do projeto arquitetônico privilegiou aberturas em todas as faces da edificação, o que facilitou o desempenho quanto ao aproveitamento da ventilação natural. Entretanto, o dimensionamento das janelas foi equivocado, segundo a norma, se comparado à área de piso, poderia ter sido projetadas com uma área maior para a ventilação.

A fase de definição da implantação das casas contou com um estudo prévio das condições climáticas locais, feito pela autora desta pesquisa, que propiciou deixar por parte dos moradores escolherem entre privilegiar uma melhor insolação nos ambientes, ou uma melhor vista de determinado cômodo, ou ainda pelo simples fato de escolherem qual parte da casa ficaria exposta à rua. Enfim, muitos condicionantes foram levados em consideração para que as famílias ficassem satisfeitas com a orientação de suas casas independente de questões meramente técnicas.

Entretanto, se os assessores técnicos tivessem usado este levantamento de dados geográficos da área de implantação para consultar a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) que, como visto, oferece diretrizes para auxiliar nas escolhas de sistemas construtivos e estratégias para aproveitamento do condicionamento térmico passivo, permitiria com que tivessem sido oferecidas outras alternativas além do adobe que também se adaptassem à situação ideal de acordo com o clima da área de estudo.

De maneira geral, apesar do processo participativo de construção das habitações do Sepé Tiaraju não ter contado com um estudo específico de avaliação

de desempenho térmico no momento de elaboração projetual, alguns aspectos do projeto favoreceram as condições térmicas, como visto pela aplicação dos métodos desta pesquisa, mas poderiam ter sido melhores se o tivessem feito.

Portanto, torna-se importante destacar que o uso de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico de um componente ou do ambiente de uma edificação é de extrema importância na busca pela melhoria da qualidade da habitação social e pode e deve ser incorporada ao processo participativo de elaboração de projeto, definição de implantação e construção de casas em assentamentos rurais.

Portanto, para que se atenda às especificações climáticas regionais o uso de ferramentas auxiliares para avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos e ambientes de edificações, em seus diferentes graus de complexidade e refinamento de resultados, torna-se um procedimento importante a ser incorporado no ato de se projetar uma edificação ou de se corrigir uma escolha consolidada.

Sendo assim, considerando o contexto estudado, o processo participativo de elaboração de projeto e implantação das habitações no assentamento rural Sepé Tiaraju, onde o envolvimento de pessoas de diferentes acúmulos de experiências e vivências dificulta a aceitação de um número restrito de tipologias habitacionais, uma vez que em projetos como este não se consegue atender às expectativas particulares de cada família, a incorporação de recomendações para projeto e implantação que visem o conforto térmico provavelmente contribuirá para um produto de maior qualidade e conseqüente satisfação de seus usuários.

Conclui-se então, através do uso de dados de uma realidade social, que a aplicação dos métodos aqui analisados no início do processo participativo de elaboração projetual e definição de implantação de habitações no meio rural, possivelmente proporcionará melhores resultados quanto ao desempenho térmico das edificações projetadas, aumentando a qualidade das moradias e o grau de satisfação das famílias usuárias.

CONCLUSÃO

A concepção de projetos arquitetônicos e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais, que contemplam a participação das famílias beneficiárias nos processos decisórios, estão condicionadas a variáveis, tais como: a limitação de recursos governamentais para financiamentos, descapitalização das famílias, atendimento a um programa de necessidades específicas, além da busca pela melhoria da qualidade da moradia.

Neste contexto, o desempenho térmico de edificações é uma variável muito importante a ser considerada em processos participativos de elaboração de projeto arquitetônico e definição de implantação de habitações rurais, principalmente quando o que se pretende é a melhoria de sua qualidade.

A aplicação de ferramentas simplificadas de avaliação de desempenho térmico de edificações pode e deve ser incorporada a este processo, pois permite um aumento de dados, informações que auxiliam na criação das espacialidades internas das moradias visando um melhor aproveitamento de condicionamento térmico passivo, como ventilação e iluminação naturais. Além de parametrizar a escolha por sistemas construtivos que melhor se adequem à região climática de implantação oferecendo conforto aos seus usuários.

Para tanto, a norma brasileira de desempenho térmico de edificações, a ABNT NBR 15220-3, configura uma importante ferramenta auxiliar para o ato de projetar, pois oferece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social de acordo com um zoneamento bioclimático. E apesar do território brasileiro ter sido dividido em apenas 8 zonas, a proposta principal da norma é de que de acordo com as características climáticas de cada uma dessas zonas o projetista não cometa grandes erros.

Contudo, para uma avaliação de desempenho térmico que leve em consideração aspectos do microclima do local de estudo, optou-se nesta pesquisa pela aplicação do método do C.S.T.B. (*Centre Scientifique et Technique Du Batiment* – de Paris) que apesar de trabalhoso por se tratar de cálculos manuais, possui equações de resoluções simplificadas e é baseado em dados disponíveis quanto às propriedades térmicas de materiais construtivos e dados climáticos, principalmente com a possibilidade de consulta à ABNT NBR 15220.

O método do C.S.T.B. permitiu avaliar o desempenho térmico de unidades habitacionais representativas do assentamento Sepé Tiaraju construídas com sistemas construtivos diferenciados, como o adobe (tijolo de terra crua) e o bloco cerâmico estrutural. Porém, a casa de bloco cerâmico estrutural não apresentou bom resultado. Com isso, foram simuladas alternativas de alterações e adaptações de projeto visando situações termicamente mais favoráveis para este caso. Foi possível testar alterações que só poderiam ser aplicadas nas fases de elaboração projetual como a mudança de orientação de implantação ou de sistemas construtivos; e adaptações de projeto pós construção como pintura de paredes externas e coberturas em cores claras e aplicação de uma manta de lã de vidro sob as telhas.

Concluiu-se desta maneira que a aplicação de ferramentas de avaliação de desempenho térmico de edificações permite aumentar a qualidade da habitação em assentamentos rurais, principalmente quando utilizadas no início da discussão do projeto arquitetônico, considerando os aspectos da implantação e contando com a participação das famílias beneficiárias em todas as instâncias decisórias do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15220-2/2005 **Desempenho Térmico de Edificações** (Parte 2: Métodos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações). (ABNT NBR 15220-2, 2005).

ABNT NBR 15220-3/2005 **Desempenho Térmico de Edificações** (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social). (ABNT NBR 15220-3, 2005).

ABNT NBR 15270-3/ 2005 – **Componentes cerâmicos** – Parte 3 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio, da ABNT (Associação Brasileira de Normas). (ABNT NBR 15270-3, 2005).

ACSELRAD, H. **Sustentabilidade e desenvolvimento: modelos, processo e relações**. Série Cadernos de Debate Brasil Sustentável e Democrático, Rio de Janeiro, n. 5, 1999.

A.S.H.R.A..E. – **Handbook of Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1977.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. de M.; BARING, J. G. de A. (1986) **Implantação de conjuntos habitacionais. Recomendações para adequação climática e acústica**. São Paulo: IPT.

AKUTSU, M. **Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1998. (Tese de Doutorado).

BANDEIRA, P. **Participação, Articulação de Atores Sociais e Desenvolvimento Regional**. Texto para discussão n° 630. 1 ed. Brasília, 1999.

BARBOSA, M. J. Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais. Florianópolis: UFSC, 1997.

BOREL, J. **Le confort thermique em climat chaud**. Cours professé à la FAU-USP, São Paulo, 1967, (mimeo).

BORSATO, V. A. **A climatologia dinâmica e o ensino da geografia no segundo grau: uma aproximação ao problema**. Departamento de Geografia da UEM (Universidade Estadual de Maringá). Revista GeoNotas, volume 4, nº 1. ISSN 1415-0646, 2000.

BUYLE-BODIN, F.; CARBILLAC, R.; DUVAL, R. e LUHOWIAK, W. **Stabilisation d'un torchis par liant hydraulique**. In: Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials (RILEM *Proceedings of the Second International Symposium - Salvador, BA, Brazil, September 1990*). SOBRAL, H.S. (ed.). London, Chapman and Hall, 1990. p. 182-192.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – (C.S.T.B.) – R.E.E.F. 58. *Hygrothermique et ventilation* (D5). Paris, 1958.

CORBELLA, O. D.. “**Arquitetura Bioclimática ou de Baixo Consumo Energético. Uma Proposta para Trabalhar com a Realidade**”; In Seminário da Arquitetura Bioclimática, Trabalhos, SP, CESP, p. 41.

CROISSET, M. **L'hygrothermique dans le batiment**. Paris, Eyrolles, 1972.

CUNHA, D. G. F., VECCHIA, F. **As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática**. Fonte: <

http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/viewFile/57/69>, acessado em julho de 2008.

DIONNE, Hugues. *A Pesquisa-Ação para o Desenvolvimento Local*. Editora Liberlivro. Brasília, 2007.

EMBRAPA – Rede de Agroecologia. **Elaboração e gestão de projetos de transição agroecológica em estabelecimentos rurais de referência.** Fonte: <<http://redeagroecologia.cnptia.embrapa.br/biblioteca/dados-da-rede-mm/Apostila%20Curso%20Agroecologia%20l.pdf>> Acessado em: janeiro de 2008.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering**, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

FATHY, H. **Construindo com o povo: arquitetura para os pobres.** São Paulo: Edusp, 1980.

FERNANDES, L. C. & KRÜGER, E. L.; **“Equações Preditivas na Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social”**, programa de pós graduação em tecnologia, semana de tecnologia, p. 1, Curitiba 2000/2001

FRICKE, G.T., **Um estudo sobre projeto bioclimático e conservação de energia.** Tese de Doutorado, Planejamento de Sistemas Energéticos, FEM/Unicamp, 1999.

FROTA, Anésia, SCHIFFER, Sueli. **Manual do Conforto Térmico.** 4. ed. - São Paulo: Studio Nobel, 2000.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2005.** Belo Horizonte: A Fundação, 2006. 119 p.

GIGLIO, T. G. F. & BARBOSA, M. J. **Aplicação de métodos de avaliação de desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira.** ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), Porto Alegre, v. 6, p. 91-103, jul./set. 2006.

GONÇALVES, H. **O sol nos edifícios.** Rio de Janeiro, Lemos, 1955.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.

INO, Akemi (coordenação geral) & SHIMBO, Ioshiaqui (planejamento estratégico). **Proposição de diretrizes para políticas públicas integradas para habitação social, saneamento ambiental e produção de alimentos com transição agroecológica em assentamentos rurais. Caso: região nordeste do Estado de São Paulo.** HABIS – Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade. Projeto de pesquisa – FAPESP. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Carlos, março 2006.

KOENIGSBERGER, O. *et alli* – ***Vivenda y edificios en zonas cálidas y tropicales.*** Trad. Emilio Romero Ros. Madrid, Paraninfo, 1977.

KONYA, A. – **Design primer for hot climate.** London, Architectural Press, 1980.

KRÜGER, E. L. & LAMBERTS, R **Avaliação de Desempenho Térmico de Casas Populares.** ENTAC 2000, VIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador, 2000.

KUCHENBECKER, L. C.; SZÜCS, C. P.; PEREIRA, F. O. R. Habitabilidade e conforto ambiental no projeto da habitação de interesse social. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Fortaleza, 1999, p. 1-8.

LABAKI, L.; KOWALTOWSKI, D., **Projeto Padrão de Conjuntos Habitacionais de Campinas e seu Conforto Térmico: Análise de Possíveis Melhorias.** In: Qualidade e Tecnologia na Habitação, 1995, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ANTAC, 1995

LEITE, S. Impactos regionais da reforma agrária no Brasil: aspectos políticos, econômicos e sociais. *In: Reforma agrária e desenvolvimento sustentável.* Brasília: Paralelo 15/Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento/Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2000.

LIMA, G. A. G.; ROCHA, Q. V. D.; ALMEIDA; P. S.; SANT'ANA, R. S. **A pesquisa no assentamento Sepé Tiarajú como subsídio para o estágio jurídico social.** Fonte: <<http://www.nead.gov.br>> Acesso em: novembro de 2006;

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

MASCARÓ, J. L & MASCARÓ, L. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios.** Porto Alegre: Luzzato, 1992.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA N., J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.**

Fonte: < http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Antac_Doc122144.pdf>
Acesso em: março de 2007.

MICHALOSKI, E. L. & LAMBERTS, R.; “**Avaliação de Desempenho Térmico por Meio de Simulação Computacional de Habitações Populares implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba**”; dissertação de mestrado, p. 15, Curitiba 2002.

MILANI, A. P. da S.; FREIRE, W. J.. **Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica.** Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 11, p. 23-30, abril, 2008.

MORAES, C. M. & ISMAIL, K. A. R. **Discussão conforto térmico em salas de aulas:** métodos conforto x questionários x controlador universal nebuloso: estudo preliminar dos métodos de Humphreys analisado sob a lógica Fuzzy. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 23 a 25 de outubro de 2007.

OLGYAY, V. **Design with climate.** New Jersey, Princeton University, 1963.

PERES, R. B. et al. **A moradia em assentamentos rurais: proposições de diretrizes para uma perspectiva mais sustentável.** In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2. Anais... Canela, RS – 24 a 27 de abril de 2001.

QUALHARINI, E. L. **Gestão Estratégica na Avaliação de Projetos de Construção Civil.** In: **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído: Qualidade e Tecnologia na Habitação**, 1. Rio de Janeiro, Novembro, 1993.

RIBASKI, J; MONTOYA, L. J.& RODIGHERI, H. R.. **Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos.** Publicação em 2002. Fonte: <<http://www.planetaorganico.com.br/TrabRibaski.htm>> Acessado em: janeiro de 2008.

RORIZ, M., BASSO, A. **ARQUITROP Versão 3.0**, São Carlos, SP, 1990.

SANOFF, H. **Participatory design: theory and techniques.** Raleigh: Henry Sanoff, 1990.

SAR 73: **the methodical formulation of agreement concerning the direct dwelling environment.** [197- ?]. [S.l.], 1990. Apostila.

SANTOS, M. C. **Anforderungs – und Leistungskriterien für Bausysteme in Brasilien.** Hannover: Technische Universität Hannover, 1995. (PhD Thesis)

SHIMBO, Lucia Z. **A casa é o Pivô: Mediações entre o arquiteto, o morador e a habitação rural.** 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Bolsa Fapesp 02/04826-6.

SHIMBO, L. Z.. **Questões, conflitos e potencialidades do diálogo entre moradores e arquitetos sobre materiais construtivos sustentáveis para habitação.** In: I CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE CONSTRUÇÃO

SUSTENTÁVEL E X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. ANAIS - ENTAC, 2004.

SILVA, F. M. G. **Análise da sustentabilidade no processo de produção de moradias utilizando adobe e bloco cerâmico: caso do assentamento rural Pirituba II - Itapeva-SP.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, S. M. **Indicadores de Sustentabilidade urbana:** as perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

THOILLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1986.

VECCHIA F. **Clima e Ambiente Construído. A abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano.** São Paulo, FFLCH USP, Departamento de Geografia, 1997.

XAVIER, A. A. P. **Condições de Conforto Térmico para estabelecimentos de 2º grau na região de Florianópolis.** Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

YUBA, A. N. **Abordagem pluridimensional da sustentabilidade da cadeia produtiva da habitação em madeira de plantios florestais.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

WEBSITES:

Fonte: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u125239.shtml>> , acessado em março de 2008.

Fonte: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/dau/profs/edmund0/Cap%EDtulo2-Transmiss%E3o%20de%20Calor.pdf>>, acessado em maio de 2008.

Fonte: <<http://comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=25&id=281&tipo=0>>, acessado em julho de 2008.

Fonte: <http://www.fjp.mg.gov.br/produtos/cei/infocei_deficitbr2005.pdf>, acessado em janeiro de 2008.

Informações do ITESP – disponível em:< <http://www.itesp.sp.gov.br/> >. Acesso em 20/03/2006.

Fonte:

<<http://209.85.165.104/search?q=cache:HwTaPcmfhDMJ:https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/817/6/Parte%2520II.pdf+tijolo+de+terra+crua+condutibilidade&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=11&gl=br>>, acessado em agosto de 2008.

Fonte:

<http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ApostilaECV5161_Versao2005_Modulo1.pdf>, acessado em junho de 2008.

Fundação João Pinheiro (2002). Fonte: < <http://www.fjp.gov.br/>>, acessado em maio de 2008.

MILANI, A. P. S. & FREIRE W. J. **Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 11, p. 23-30, Abril, 2008.

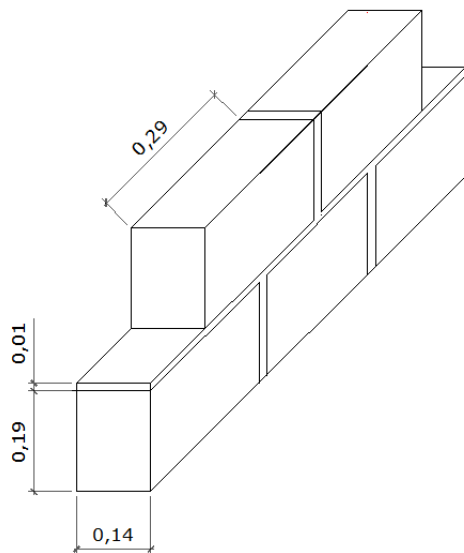
Disponível em: < http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N11.pdf>

SIMÕES, Fausto. **A qualidade térmica da terra e o desafio da regulamentação energética.**

Disponível em: <http://www.arquitecologia.org/FS_Qualidade%20termica.pdf>, com acesso em julho de 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Cálculo da transmitância térmica da parede de bloco cerâmico estrutural da tipologia (29 x 19 x 14 cm) de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.



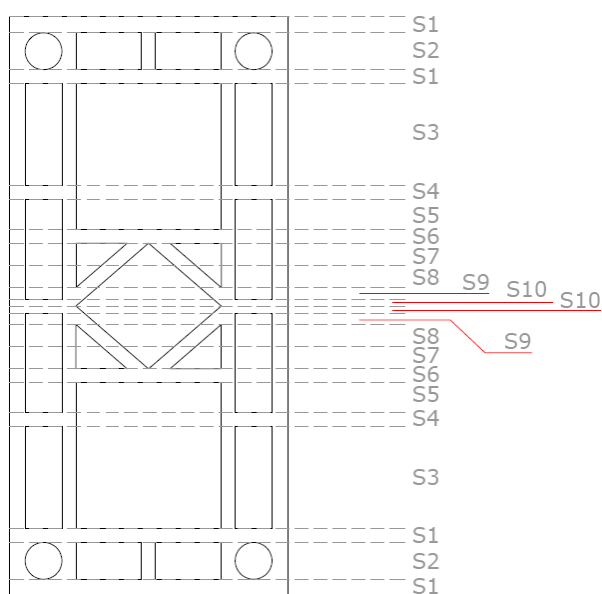
Vista em perspectiva

Dados:

Dimensões do bloco cerâmico: 29 x 19 x 14 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1200 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3, NBR 15220-2)



Vista superior com a divisão em sessões

a) resistência térmica da parede

$$R_{\text{cerâmica}} = e_{\text{cerâmica}} / \lambda_{\text{cerâmica}}$$

$R_{\text{ar}} = 0,14 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar entre 1,0 e 2,0 cm, fluxo horizontal)

$R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar entre 2,0 e 5,0 cm, fluxo horizontal)

$R_{\text{ar}} = 0,17 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0 cm, fluxo horizontal)

Seção 1 (cerâmica):

$$A_1 = 0,008 \times 0,19 = 0,00152 \text{ m}^2$$

$$R_{t1} = 0,14/0,90 = 0,126 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 2 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_2 = 0,0185 \times 0,19 = 0,003515 \text{ m}^2$$

$$R_{t2} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90 + 0,16 + 0,007/0,90 + 0,16 + 0,008/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t2} = 0,6429 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 3 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_3 = 0,051 \times 0,19 = 0,00969 \text{ m}^2$$

$$R_{t3} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,007/0,90 + 0,17 + 0,007/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t3} = 0,483 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 4 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_4 = 0,007 \times 0,19 = 0,00133 \text{ m}^2$$

$$R_{t4} = 0,0335/0,90 + 0,17 + 0,0335/0,90$$

$$R_{t4} = 0,23 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 5 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_5 = 0,0335 \times 0,19 = 0,006365 \text{ m}^2$$

$$R_{t5} = R_3$$

$$R_{t5} = 0,483 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 6 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_6 = 0,007 \times 0,19 = 0,00133 \text{ m}^2$$

$$R_{t6} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,087/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t6} = 0,3936 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 7 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_7 = 0,0111 \times 0,19 = 0,002109 \text{ m}^2$$

$$R_{t7} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,007/0,90 + 0,14 + 0,01/0,90 + 0,14 + 0,01/0,90 + 0,14 + 0,007/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t7} = 0,7552 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 8 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_8 = 0,0111 \times 0,19 = 0,002109 \text{ m}^2$$

$$R_{t8} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,007/0,90 + 0,14 + 0,01/0,90 + 0,16 + 0,01/0,90 + 0,14 + 0,007/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t8} = 0,7752 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 9 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_9 = 0,0057 \times 0,19 = 0,001083 \text{ m}^2$$

$$R_{t9} = 0,008/0,90 + 0,14 + 0,0145/0,90 + 0,17 + 0,0145/0,90 + 0,14 + 0,008/0,90$$

$$R_{t9} = 0,4998 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 10 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_{10} = 0,0035 \times 0,19 = 0,000665 \text{ m}^2$$

$$R_{t10} = 0,0365/0,90 + 0,17 + 0,0355/0,90$$

$$R_{t10} = 0,2488 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 11 (argamassa)

$$A_{11} = 0,015 \times 0,29 + 0,015 \times 0,205 = 0,007425 \text{ m}^2$$

$$R_{t11} = 0,14/1,15$$

$$R_{t11} = 0,1217 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = (4.A_1 + 2.A_2 + 2.A_3 + 2.A_4 + 2.A_5 + 2.A_6 + 2.A_7 + 2.A_8 + 2.A_9 + 2.A_{10}) / [(4.A_1/R_1) + (2.A_2/R_2) + (2.A_3/R_3) + (2.A_4/R_4) + (2.A_5/R_5) + (2.A_6/R_6) + (2.A_7/R_7) + (2.A_8/R_8) + (2.A_9/R_9) + (2.A_{10}/R_{10}) + (A_{11}/R_{11})]$$

$$R_t = (4.0,002 + 2.0,004 + 2.0,01 + 2.0,001 + 2.0,006 + 2.0,001 + 2.0,002 + 2.0,002 + 2.0,001 + 2.0,0006 + 0,007) / [(4.0,002/0,126) + (2.0,004/0,643) + (2.0,01/0,483) + (2.0,001/0,23) + (2.0,006/0,483) + (2.0,001/0,394) + (2.0,002/0,755) + (2.0,002/0,775) + (2.0,001/0,499) + (2.0,0006/0,249) + (0,007/0,1217)]$$

$$R_t = 0,07 / 0,229 = 0,3056 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T)

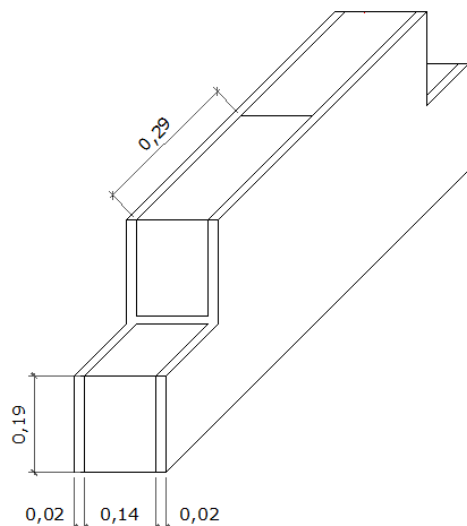
(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,3056 + 0,04 = 0,4756 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) Transmitância térmica da parede

$$U = 1/R_T = 1/0,4756 = \mathbf{2,10 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

APÊNDICE B – Cálculo da transmitância térmica da parede de adobe (tijolo de terra crua) estrutural da tipologia de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.



Vista em perspectiva

Dados:

Dimensões do adobe: 29 x 19 x 14 cm

$$P_{\text{adobe}} = 1800 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{adobe}} = 1,05 \text{ W/(m.K)} \text{ [valor médio, } \lambda_{\text{adobe}} \text{ pode variar entre 0,7 e 1,4 W/(m.K)]}$$

a) resistência térmica da parede: $R_{t \text{ adobe}} = e_{\text{adobe}} / \lambda_{\text{adobe}}$

Seção única ($e_{\text{reboco}} + e_{\text{adobe}} + e_{\text{reboco}}$)

$$A = 0,19 \times 0,29 = 0,0551 \text{ m}^2$$

$$R_{t \text{ adobe}} = 0,02/1,05 + 0,14/1,05 + 0,02/1,05$$

$$R_{t \text{ adobe}} = 0,1713 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T)

(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1713 + 0,04 = 0,3413 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) Transmitância térmica da parede

$$U = 1/R_T = 1/0,3413 = \mathbf{2,92 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

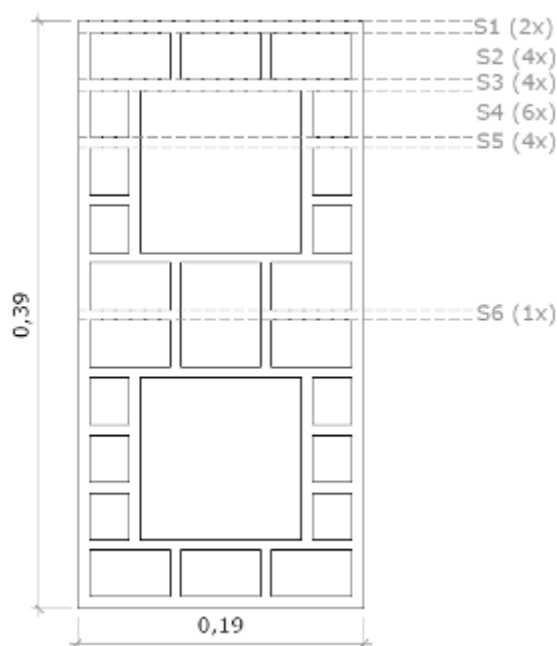
APÊNDICE C – Cálculo da transmitância térmica da parede de blocos cerâmicos estruturais (39 x 19 x 19 cm) da tipologia de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Dados:

Dimensões do bloco cerâmico: 39 x 19 x 19 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1200 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3, NBR 15220-2)



Vista superior com a divisão em sessões

a) resistência térmica da parede

$$R_{t \text{ cerâmica}} = e_{\text{cerâmica}} / \lambda_{\text{cerâmica}}$$

$R_{\text{ar}} = 0,14 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar entre 1,0 e 2,0 cm, fluxo horizontal)

$R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar entre 2,0 e 5,0 cm, fluxo horizontal)

$R_{\text{ar}} = 0,17 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0 cm, fluxo horizontal)

Seção 1 (cerâmica):

$$A_1 = 0,008 \times 0,19 = 0,00152 \text{ m}^2$$

$$R_{t1} = 0,19/0,90 = 0,211 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 2 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_2 = 0,0313 \times 0,19 = 0,00594 \text{ m}^2$$

$$R_{t2} = 0,008/0,90 + 0,17 + 0,007/0,90 + 0,17 + 0,007/0,90 + 0,17 + 0,008/0,90$$

$$R_{t2} = 0,543 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 3 (cerâmica)

$$A_3 = 0,007 \times 0,19 = 0,00133 \text{ m}^2$$

$$R_{t3} = 0,19/0,90$$

$$R_{t3} = 0,211 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 4 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_4 = 0,0311 \times 0,19 = 0,0059 \text{ m}^2$$

$$R_{t4} = 0,008/0,90 + 0,16 + 0,007/0,90 + 0,17 + 0,007/0,90 + 0,16 + 0,008/0,90$$

$$R_{t4} = 0,523 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 5 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_5 = 0,007 \times 0,19 = 0,00133 \text{ m}^2$$

$$R_{t5} = 0,0417/0,90 + 0,17 + 0,0417/0,90$$

$$R_5 = 0,2626 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 6 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica)

$$A_6 = 0,007 \times 0,19 = 0,00133 \text{ m}^2$$

$$R_{t6} = 0,0683/0,90 + 0,17 + 0,0683/0,90$$

$$R_{t6} = 0,3216 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 7 (argamassa)

$$A_7 = 0,015 \times 0,19 + 0,015 \times 0,405 = 0,008925 \text{ m}^2$$

$$R_{t7} = 0,19/1,15$$

$$R_{t7} = 0,1652 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = (2.A_1 + 4.A_2 + 4.A_3 + 6.A_4 + 4.A_5 + A_6 + A_7) / [(2.A_1/R_1) + (4.A_2/R_2) + (4.A_3/R_3) + (6.A_4/R_4) + (4.A_5/R_5) + (A_6/R_6) + (A_7/R_7)]$$

$$R_t = (2.0,00152 + 4.0,00594 + 4.0,00133 + 6.0,0059 + 4.0,00133 + 0,00133 + 0,008925) / [(2.0,00152/0,211) + (4.0,00594/0,543) + (4.0,00133/0,211) + (6.0,0059/0,523) + (4.0,00133/0,2626) + (0,00133/0,3216) + (0,008925/0,1652)]$$

$$R_t = 0,0830 / 0,2293 = 0,3619 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T)

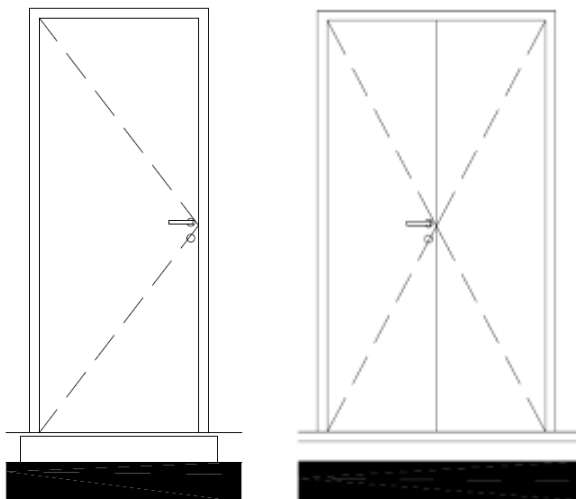
(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,3619 + 0,04 = 0,5319 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) Transmitância térmica da parede

$$U = 1/R_T = 1/0,5319 = \mathbf{1,88 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

APÊNDICE D – Cálculo da transmitância térmica das portas de madeira de uma e de duas folhas de abrir, da tipologia de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.



Portas 01 e 02: vista frontal

Dados:

Dimensões da porta 01: 2,10 x 0,80 m

Dimensões da porta 02: 2,10 x 1,10 m

$\rho_{\text{compensado}} = 400 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{compensado}} = 0,12 \text{ W/(m.K)}$

$R_{\text{ar}} = 0,14 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar entre 1,0 e 2,0 cm, fluxo horizontal)

a) resistência térmica da porta (compensado + câmara de ar + compensado)

$$R_{t \text{ porta}} = 0,006/0,12 + 0,14 + 0,006/0,12$$

$$R_{t \text{ porta}} = 0,24 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T)

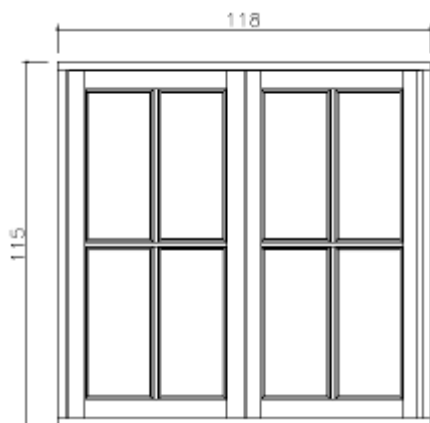
(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,24 + 0,04 = 0,41 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) Transmitância térmica da porta

$$U = 1/R_T = 1/0,41 = \mathbf{2,44 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

APÊNDICE E – Cálculo da transmitância térmica da janela com duas folhas de abrir e vedação em vidro comum, da tipologia de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.



Vista frontal

Dados:

Dimensões da janela: 1,18 x 1,15 m

$$\rho_{\text{eucalipto}} = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{eucalipto}} = 0,23 \text{ W/(m.K)}$$

$$\rho_{\text{vidro}} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{vidro}} = 1,00 \text{ W/(m.K)}$$

a) resistência térmica da janela

Seção 01 (folha de madeira de eucalipto)

$$A_1 = 0,25 \times 1,1 + 0,155 \times 0,44 + 0,07 \times 0,977 = 0,4115 \text{ m}^2$$

$$R_{t1} = 0,028/0,23$$

$$R_{t1} = 0,1217 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 02 (batente)

$$A_2 = 1,18 \times 0,025 + 1,09 \times 0,025 = 0,0567 \text{ m}^2$$

$$R_{t2} = 0,12/0,23$$

$$R_{t2} = 0,5217 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 03 (vidros)

$$A_3 = 0,2215 \times 0,4825 = 0,1068 \text{ m}^2$$

$$R_{t3} = 0,003/1,0$$

$$R_{t3} = 0,003 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica da janela será:

$$R_t = (0,4115 + 0,0567 + 8 \times 0,1068)/[(0,4115/0,1217) + (0,0567/0,5217) + (8 \times 0,1068 + 0,003)]$$

$$R_t = (0,4115 + 0,0567 + 0,8544)/(3,3812 + 0,1086 + 284,8)$$

$$R_t = 1,3226/288,28$$

$$R_t = 0,00458 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T)

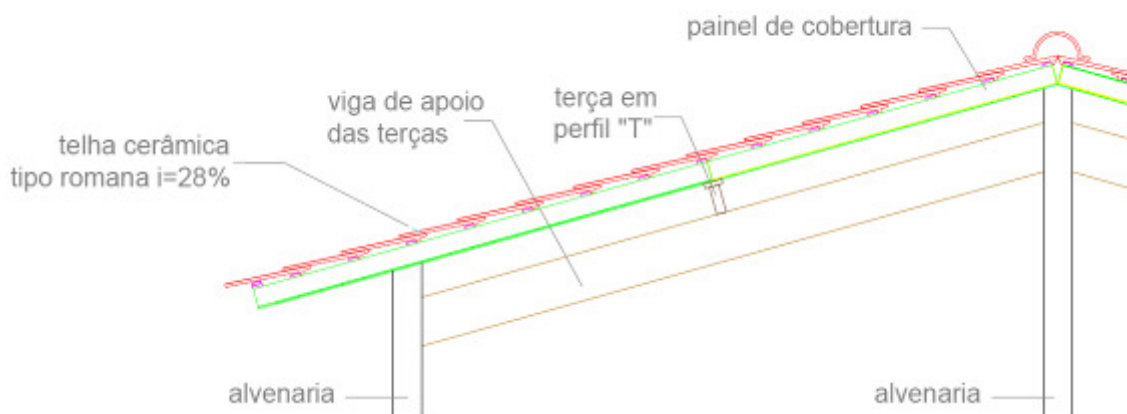
(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,00458 + 0,04 = 0,17458 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) Transmitância térmica da janela

$$U = 1/R_T = 1/0,17458 = \mathbf{5,72 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

APÊNDICE F – Cálculo da transmitância térmica da cobertura de telha cerâmica tipo romana, câmara de ar não ventilada e forro de pinus, da tipologia de 3 quartos com varanda do assentamento Sepé Tiaraju, segundo a NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.



Corte do sistema de cobertura

Dados:

Dimensões da cobertura: 3,50 x 7,20 m

$$\rho_{\text{eucalipto}} = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{eucalipto}} = 0,23 \text{ W/(m.K)}$$

$$\rho_{\text{pinus}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

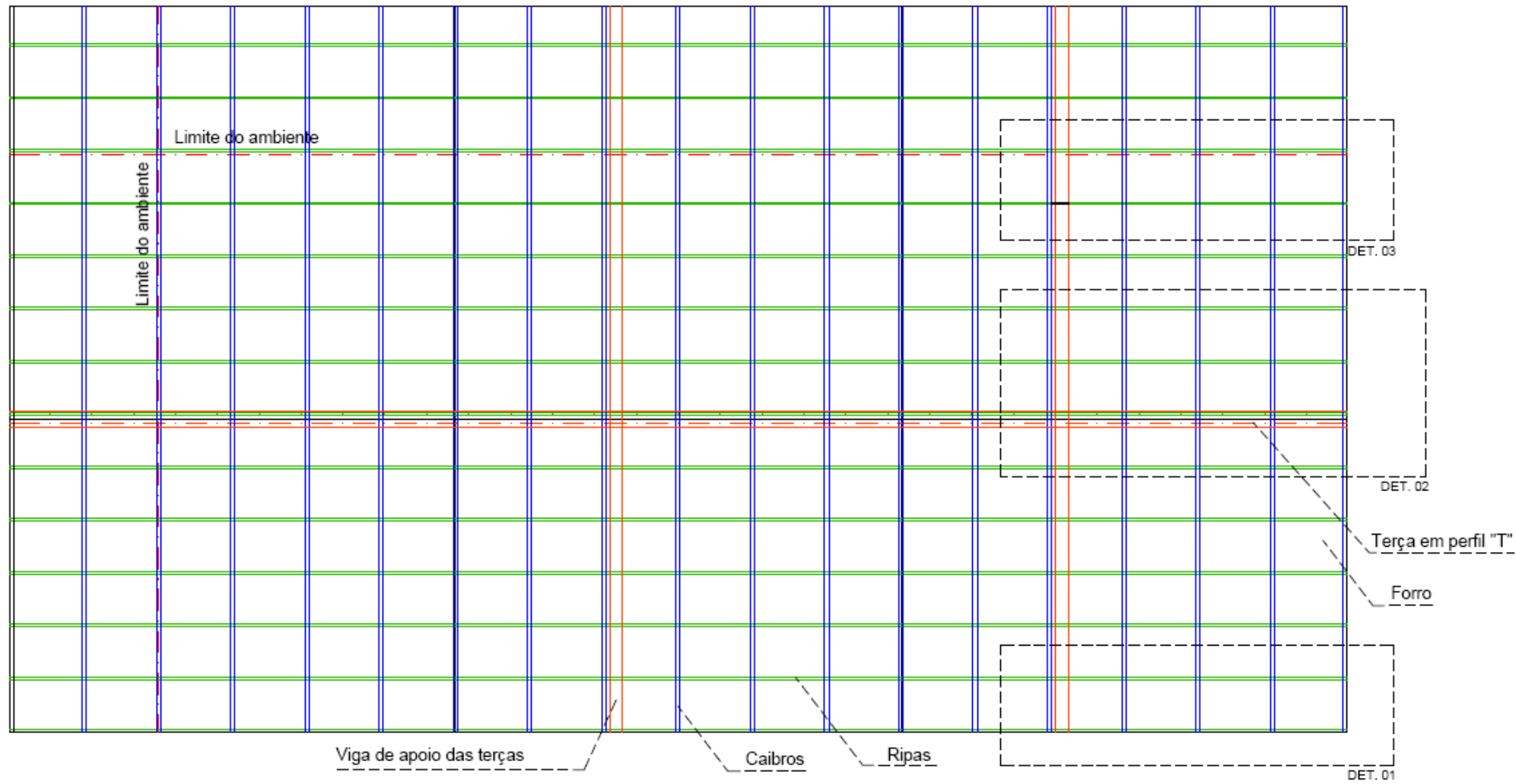
$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,15 \text{ W/(m.K)}$$

$$\rho_{\text{telha}} = 1880 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{telha}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$$

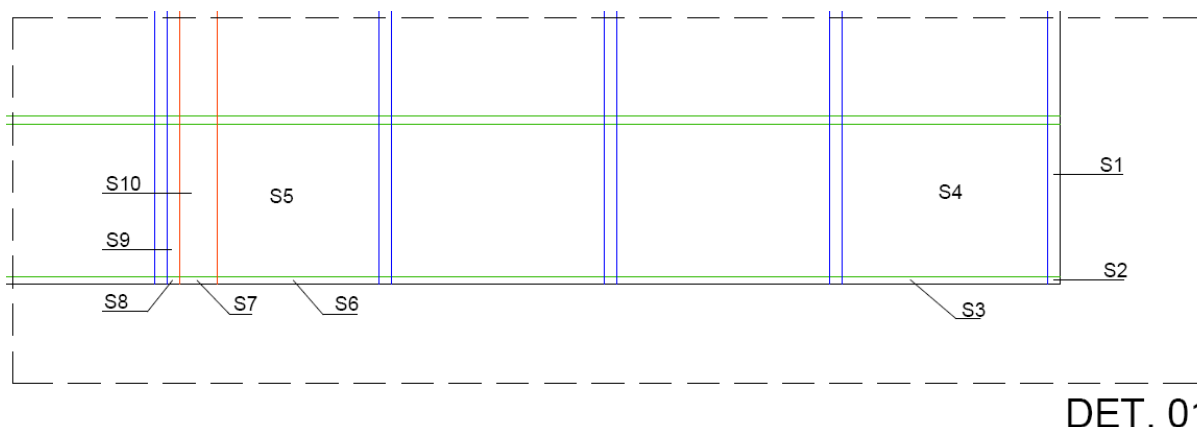
$R_{\text{ar}} = 0,14 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0 cm, fluxo ascendente)

$R_{\text{ar}} = 0,21 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, NBR 15220-2, superfície alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0 cm, fluxo descendente)



Planta do sistema de cobertura do ambiente cozinha/sala das tipologias submetidas à avaliação de desempenho térmico

a) resistência térmica da cobertura



Detalhe 01 com a divisão do painel de cobertura em sessões de 01 a 10.

Seção 01 (forro + caibro + telha)

$$A_1 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$R_{t1} = 0,009/0,15 + 0,1/0,15 + 0,018/0,90$$

$$R_{t1} = 0,746 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 02 (forro + caibro + ripa + telha)

$$A_2 = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t2} = 0,06 + 0,666 + 0,015/0,23 + 0,02$$

$$R_{t2} = 0,0,806 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 03 (forro + tabeira + ripa + telha)

$$A_3 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$R_{t3} = 0,06 + 0,666 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t3} = 0,806 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 04 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_4 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$R_{t4} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t4} = 0,29 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 05 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_5 = 0,099 \text{ m}^2$$

$$R_{t5} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t5} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 06 (forro + tabeira + ripa + telha)

$$A_6 = 0,005 \text{ m}^2$$

$$R_{t6} = 0,06 + 0,666 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t6} = 0,806 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 07 (viga + forro + tabeira + ripa + telha)

$$A_7 = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t7} = 0,25/0,15 + 0,06 + 0,666 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t7} = 2,472 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 08 (forro + tabeira + ripa + telha)

$$A_8 = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t8} = 0,06 + 0,666 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t8} = 0,806 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 09 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_9 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$R_{t9} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

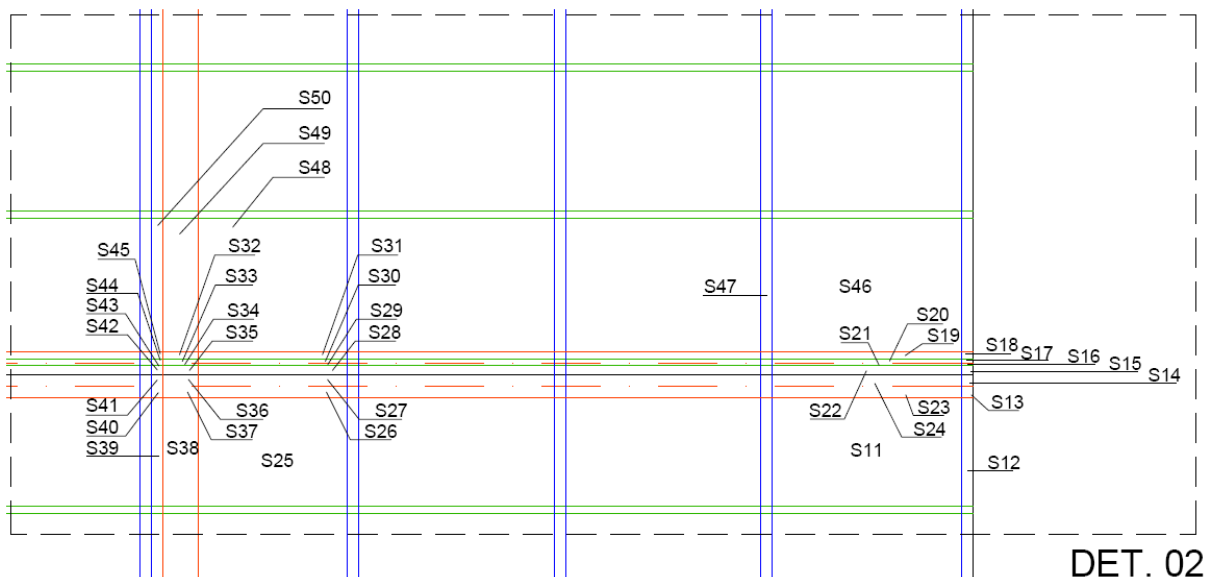
$$R_{t9} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 10 (viga + forro + câmara de ar + telha)

$$A_9 = 0,023 \text{ m}^2$$

$$R_{t9} = 1,666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t9} = 1,956 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$



Detalhe 02 com a divisão do painel de cobertura em sessões de 11 a 50.

Seção 11 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{11} = 0,097 \text{ m}^2$$

$$R_{t11} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t11} = 0,29 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 12 (forro + caibro + telha)

$$A_{12} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$R_{t12} = 0,009/0,15 + 0,1/0,15 + 0,018/0,90$$

$$R_{t12} = 0,746 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 13 (base terça + forro + caibro + telha)

$$A_{13} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t13} = 0,025/0,15 + 0,746$$

$$R_{t13} = 0,9126 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 14 e 15 (terça + base terça + forro + caibro + telha)

$$A_{14 \text{ e } 15} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t14 \text{ e } 15} = 0,015/0,15 + 0,9126$$

$$R_{t14 \text{ e } 15} = 1,9126 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 16 (terça + base terça + forro + caibro + ripa + telha)

$$A_{16} = 0,000125 \text{ m}^2$$

$$R_{t16} = 1,9126 + 0,06$$

$$R_{t16} = 1,9726 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 17 (base terça + forro + caibro + ripa + telha)

$$A_{17} = 0,00025 \text{ m}^2$$

$$R_{t17} = 0,1666 + 0,06 + 0,666 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t17} = 0,9726 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 18 (base terça + forro + caibro + telha)

$$A_{18} = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t18} = 0,1666 + 0,06 + 0,666 + 0,02$$

$$R_{t18} = 0,9126 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 19 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{19} = 0,004 \text{ m}^2$$

$$R_{t19} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t19} = 0,4566 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 20 (base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{20} = 0,004 \text{ m}^2$$

$$R_{t20} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t20} = 0,5166 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 21 (terça + base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{21} = 0,004 \text{ m}^2$$

$$R_{t21} = 1,9126 + 0,5166$$

$$R_{t21} = 2,4292 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 22 e 24 (terça + base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{22 \text{ e } 24} = 0,019 \text{ m}^2$$

$$R_{t22 \text{ e } 24} = 1,9126 + 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t21} = 2,3692 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção 23 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{23} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$R_{t23} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t23} = 0,4566 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 25 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{25} = 0,076 \text{ m}^2$$

$$R_{t25} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t25} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 26 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{26} = 0,008 \text{ m}^2$$

$$R_{t26} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t26} = 0,4566 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 27 e 28 (terça + base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{27 \text{ e } 28} = 0,015 \text{ m}^2$$

$$R_{t27 \text{ e } 28} = 1,9126 + 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t27 \text{ e } 28} = 2,3692 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 29 (terça + base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{29} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$R_{t29} = 1,9126 + 0,5166$$

$$R_{t29} = 2,4292 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 30 (base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{30} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$R_{t30} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t30} = 0,5166 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 31 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{31} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$R_{t31} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t31} = 0,4566 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 32 (viga + base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{32} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t32} = 1,666 + 0,4566$$

$$R_{t32} = 2,1226 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 33 (viga + base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{33} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t33} = 1,666 + 0,5166$$

$$R_{t33} = 2,1826 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 34 (viga + terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{34} = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t34} = 2,4292 + 1,666$$

$$R_{t34} = 4,0952 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 35 e 36 (viga + terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{35 \text{ e } 36} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$R_{t35 \text{ e } 36} = 2,3692 + 1,666$$

$$R_{t35 \text{ e } 36} = 4,0352 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 37 (viga + base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{37} = 0,002 \text{ m}^2$$

$$R_{t37} = 1,666 + 0,4566$$

$$R_{t37} = 2,1226 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 38 (viga + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{38} = 0,018 \text{ m}^2$$

$$R_{t38} = 1,666 + 0,29$$

$$R_{t38} = 1,956 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 39 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{39} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$R_{t39} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t39} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 40 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{40} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t40} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t40} = 0,4566 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 41 e 42 (terça + base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{41 \text{ e } 42} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t41 \text{ e } 42} = 1,9126 + 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t41 \text{ e } 42} = 2,3692 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 43 (terça + base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{43} = 0,000125 \text{ m}^2$$

$$R_{t43} = 1,9126 + 0,5166$$

$$R_{t43} = 2,4292 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 44 (base terça + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{44} = 0,00025 \text{ m}^2$$

$$R_{t44} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t44} = 0,5166 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 45 (base terça + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{45} = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t45} = 0,1666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t45} = 0,4566 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 46 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{46} = 0,12 \text{ m}^2$$

$$R_{t46} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t46} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 47 (forro + caibro + telha)

$$A_{47} = 0,007 \text{ m}^2$$

$$R_{t47} = 0,009/0,15 + 0,1/0,15 + 0,018/0,90$$

$$R_{t47} = 0,746 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 48 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{48} = 0,094 \text{ m}^2$$

$$R_{t48} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t48} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 49 (viga + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{49} = 0,022 \text{ m}^2$$

$$R_{t49} = 1,666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

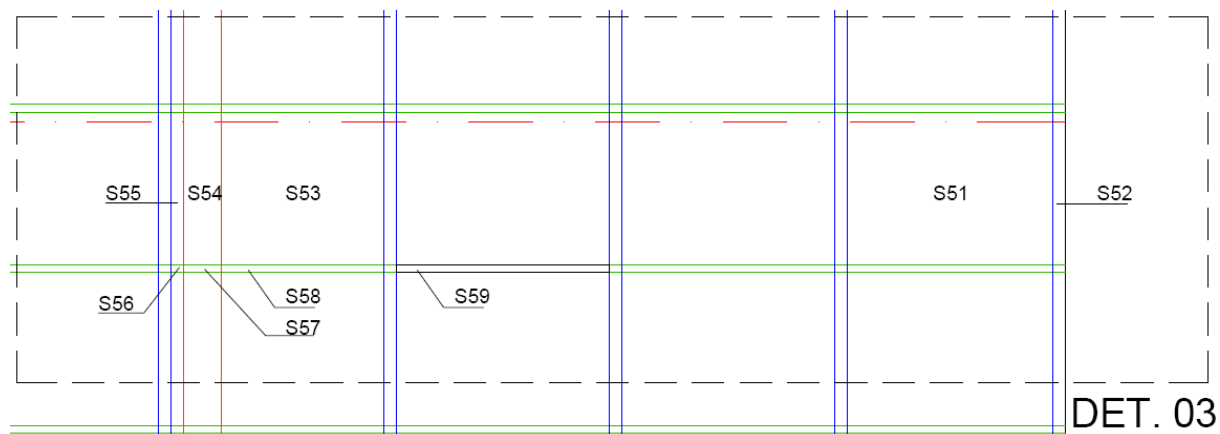
$$R_{t49} = 1,956 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 50 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{50} = 0,007 \text{ m}^2$$

$$R_{t50} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t50} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$



Detalhe 03 com a divisão do painel de cobertura em sessões de 51 a 59.

Seção 51 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{51} = 0,118 \text{ m}^2$$

$$R_{t51} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t51} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 52 (forro + caibro + telha)

$$A_{52} = 0,007 \text{ m}^2$$

$$R_{t52} = 0,009/0,15 + 0,1/0,15 + 0,018/0,90$$

$$R_{t52} = 0,746 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 53 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{53} = 0,093 \text{ m}^2$$

$$R_{t53} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t53} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 54 (viga + forro + câmara de ar + telha)

$$A_{54} = 0,021 \text{ m}^2$$

$$R_{t54} = 1,666 + 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t54} = 1,956 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 55 (forro + câmara de ar + telha)

$$A_{55} = 0,007 \text{ m}^2$$

$$R_{t55} = 0,06 + 0,21 + 0,02$$

$$R_{t55} = 0,29 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 56 (forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{56} = 0,000375 \text{ m}^2$$

$$R_{t56} = 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t56} = 0,35 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 57 (viga + forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{57} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$R_{t57} = 1,666 + 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t57} = 2,016 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 58 (forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{58} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$R_{t58} = 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t58} = 0,35 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção 59 (forro + câmara de ar + ripa + telha)

$$A_{59} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$R_{t59} = 0,06 + 0,21 + 0,06 + 0,02$$

$$R_{t59} = 0,35 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica do painel de cobertura será:

$$\begin{aligned} R_t = & (136 \times 0,008 + 170 \times 0,000375 + 14 \times 0,006 + 112 \times 0,126 + 16 \times 0,099 + 20 \times \\ & 0,005 + 20 \times 0,001 + 20 \times 0,000375 + 16 \times 0,008 + 16 \times 0,023 + 17 \times 0,097 + 17 \times \\ & 0,006 + 17 \times 0,001 + 17 \times 0,001 + 17 \times 0,000125 + 17 \times 0,00025 + 17 \times 0,000375 + \\ & 14 \times 0,004 + 14 \times 0,004 + 14 \times 0,002 + 14 \times 0,019 + 14 \times 0,01 + 2 \times 0,076 + 2 \times \\ & 0,008 + 2 \times 0,015 + 2 \times 0,002 + 2 \times 0,003 + 2 \times 0,005 + 2 \times 0,001 + 2 \times 0,001 + 2 \times \\ & 0,000375 + 2 \times 0,003 + 2 \times 0,002 + 2 \times 0,018 + 2 \times 0,006 + 2 \times 0,001 + 2 \times 0,001 + 2 \\ & \times 0,000125 + 2 \times 0,00025 + 2 \times 0,000375 + 14 \times 0,12 + 17 \times 0,007 + 2 \times 0,094 + 2 \times \\ & 0,022 + 2 \times 0,007 + 14 \times 0,118 + 17 \times 0,007 + 2 \times 0,093 + 2 \times 0,021 + 2 \times 0,007 + 2 \times \\ & 0,000375 + 18 \times 0,001 + 2 \times 0,005 + 126 \times 0,006) / [(136 \times 0,008/0,746) + (170 \times \\ & 0,000375/0,806) + (14 \times 0,006/0,806) + (112 \times 0,126/0,29) + (16 \times 0,099/0,29) + (20 \\ & \times 0,005/0,806) + (20 \times 0,001/2,472) + (20 \times 0,000375/0,806) + (16 \times 0,008/0,29) + \\ & (16 \times 0,023/1,9726) + (17 \times 0,097/0,29) + (17 \times 0,006/0,746) + (17 \times 0,001/0,9126) + \\ & (17 \times 0,001/1,9126) + (17 \times 0,000125/1,9726) + (17 \times 0,00025/0,9726) + (17 \times \\ & 0,000375/0,9126) + (14 \times 0,004/0,4566) + (14 \times 0,004/0,5166) + (14 \times 0,002/2,4292) \\ & + (14 \times 0,019/2,3692) + (14 \times 0,01/0,4566) + (2 \times 0,076/0,29) + (2 \times 0,008/0,4566) + \\ & (2 \times 0,015/2,3692) + (2 \times 0,002/2,4292) + (2 \times 0,003/0,5166) + (2 \times 0,005/0,4566) + \\ & (2 \times 0,001/2,1226) + (2 \times 0,001/2,1826) + (2 \times 0,000375/4,0952) + (2 \times 0,003/4,0352) \\ & + (2 \times 0,002/2,1226) + (2 \times 0,018/1,956) + (2 \times 0,006/0,29) + (2 \times 0,001/0,4566) + (2 \\ & \times 0,001/2,3692) + (2 \times 0,000125/2,4292) + (2 \times 0,00025/0,5166) + (2 \times \\ & 0,000375/0,4566) + (14 \times 0,12/0,29) + (17 \times 0,007/0,746) + (2 \times 0,094/0,29) + (2 \times \\ & 0,022/1,956) + (2 \times 0,007/0,29) + (14 \times 0,118/0,29) + (17 \times 0,007/0,746) + (2 \times \\ & 0,093/0,29) + (2 \times 0,021/1,956) + (2 \times 0,007/0,29) + (2 \times 0,000375/0,35) + (18 \times \\ & 0,001/2,016) + (2 \times 0,005/0,35) + (126 \times 0,006/0,35) \end{aligned}$$

$$R_t = 12,3248/35,3627$$

$$R_t = 0,3485 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

b) Resistência térmica total (R_T) para fluxo descendente

(Para R_{si} e R_{se} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,3485 + 0,04 = 0,5585 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

c) Transmitância térmica da cobertura para fluxo descendente

$$U = 1/R_T = 1/0,5585 = \mathbf{1,79 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

d) Resistência térmica total (R_T) para fluxo ascendente

(Para R_{si} ver tabela A.1, NBR 15220-2)

$$R_T = 2R_{si} + R_{pinus} = 2 \times 0,10 + 0,009/0,15 = 0,20 + 0,06 = 0,26 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

e) Transmitância térmica da cobertura para fluxo ascendente

$$U = 1/R_T = 1/0,26 = \mathbf{3,84 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2). Latitude: 20° Sul.

| | 06h | 07h | 08h | 09h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | Dezembro 22 | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|--|
| S | 108 | 213 | 234 | 194 | 158 | 138 | 124 | 138 | 158 | 194 | 234 | 213 | 108 | | |
| SE | 239 | 547 | 673 | 578 | 446 | 288 | 107 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 | 20 | | |
| E | 241 | 583 | 746 | 657 | 511 | 309 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 | 20 | | |
| NE | 20 | 38 | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 | 20 | | |
| N | 20 | 38 | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 68 | 63 | 58 | 50 | 38 | 20 | | |
| NW | 20 | 38 | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 225 | 344 | 407 | 412 | 299 | 114 | | |
| W | 20 | 38 | 50 | 58 | 63 | 68 | 65 | 309 | 511 | 657 | 746 | 583 | 241 | | |
| SW | 20 | 38 | 50 | 58 | 63 | 68 | 107 | 288 | 446 | 578 | 673 | 547 | 239 | | |
| H | 73 | 289 | 567 | 801 | 985 | 1105 | 1140 | 1105 | 985 | 801 | 567 | 289 | 73 | | |

Fonte: FROTA (2000, p. 214) apud GONÇALVES (1955) e LNEC.

ANEXO B – Tabela para classificação do fator de inércia térmica de um ambiente.

Tabela de coeficientes para a Resistência térmica do revestimento (m.K/W) para a classificação

| | Resistência térmica do revestimento (m.K/W) | | |
|--|--|-------------------|-----------------|
| | Inferior a 0,15 | Entre 0,15 e 0,50 | Superior a 0,50 |
| Parede pesando + de 200 kg/m ² | 1 | 2/3 | 0 |
| Parede pesando entre 200 e 100 kg/m ² | 2/3 | 1/3 | 0 |
| Parede pesando entre 100 e 50 kg/m ² | 1/3 | 0 | 0 |
| Parede pesando menos de 50 kg/m ² | 0 | 0 | 0 |

Fonte: FROTA (2000, p. 50)

Como uma parede (inclusive piso e teto) divide dois ambientes, considera-se apenas a metade de sua espessura, posto que a outra metade será considerada como do recinto vizinho.

A inércia do recinto considerado pode ser então classificada, segundo o valor da relação base superfície equivalente pesada/área do piso local:

| | |
|--|---------------------|
| - inferior a 0,5 | Inércia muito fraca |
| - entre 0,5 e 1,5 | Inércia fraca |
| - superior a 1,5 sem cumprir a condição definida para inércia forte | Inércia média |
| - superior a 1,5 se a metade das paredes pesar mais de 300 Kg/m ² | Inércia forte |

Fonte: FROTA (2000, p. 50)

O amortecimento e o atraso serão tanto maiores quanto maior for a inércia da construção. Considera-se que a construção está assentada diretamente sobre o solo ou erguida sobre laje de grande espessura.

Podem ser adotados os seguintes valores para o amortecimento:

| | |
|--|------------|
| Para construção de inércia muito fraca | $m = 0,4;$ |
| Para construção de inércia fraca | $m = 0,6;$ |
| Para construção de inércia média | $m = 0,8;$ |
| Para construção de inércia forte | $m = 1,0.$ |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)