

Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica

**Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de
Projeto de Edificações**

Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica

Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de
Projeto de Edificações

Tese de Doutorado
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo

Orientador
Prof. Dr. Sylvio Sawaia

Aluna
Marcia Peinado Alucci

USP-FAU
628.9
AL81C

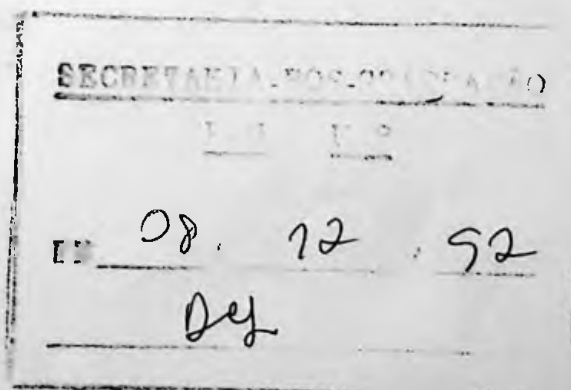
MONOGRAFIAS

CONFORTO TERMICO, CONFORTO LUMINOSO E CONSERVACAO DE ENERGIA ELETTRICA PROCEDIMENT

00029202



S. Paulo
Novembro
1992



AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Sylvio Sawaya pela confiança que depositou em mim.

Aos muitos amigos, sempre dispostos a ouvir, compreender e estimular.

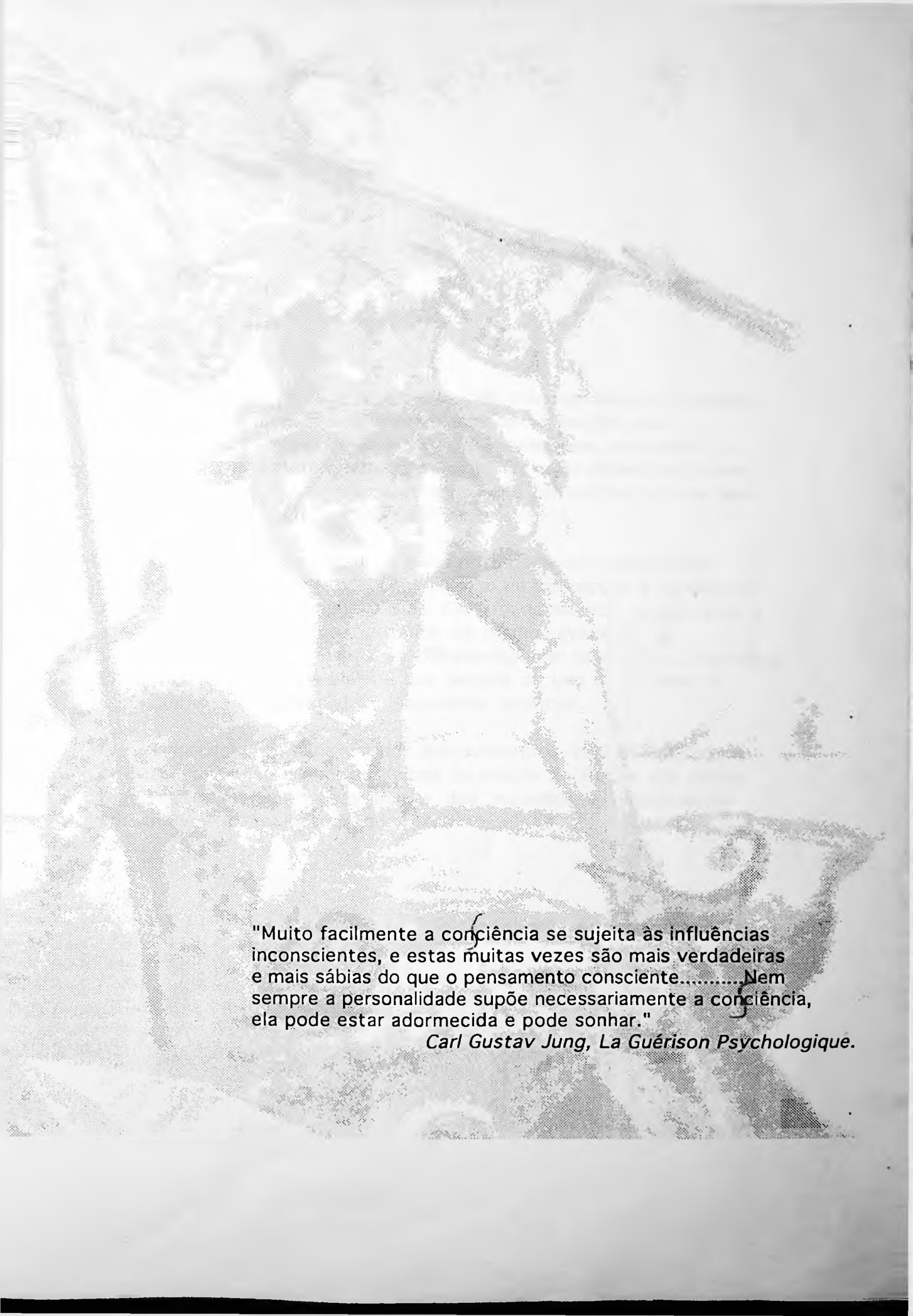
Ao meu primeiro orientador, Prof. Dr. Cintra do Prado, não mais presente entre nós, que deixou profundamente registrada em mim a opção pela seriedade.

Ao Miguel, meu pai, que me ensinou a lutar e hoje estaria feliz por constatar que aprendi pelo menos essa lição.

À FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de S. Paulo, que viabilizou a elaboração desta tese.

Ao Dr. Alvaro Rodrigues dos Santos, diretor do Departamento de Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento do Estado de S. Paulo, que compreendeu e viabilizou a realização do trabalho.

Aos meus amores,
Roberto, Janaína e Inaê



"Muito facilmente a consciência se sujeita às influências inconscientes, e estas muitas vezes são mais verdadeiras e mais sábias do que o pensamento consciente..... Nem sempre a personalidade supõe necessariamente a consciência, ela pode estar adormecida e pode sonhar."

Carl Gustav Jung, La Guérison Psychologique.

RESUMO

Este trabalho trata dos aspectos de conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica no projeto das edificações. Seu objetivo principal é fornecer aos projetistas as informações necessárias para a escolha de alternativas de projeto que garantam as condições de conforto das edificações na sua fase de uso, com consumo mínimo de energia elétrica.

Para atingir tal objetivo, o trabalho propõe um conjunto de *procedimentos*, a serem aplicados na fase de concepção e na fase de desenvolvimento do projeto básico. Os *procedimentos* destinam-se à elaboração do diagnóstico climático da região, avaliação do desempenho térmico, avaliação do desempenho luminoso e estimativa do consumo de energia elétrica que decorre do uso do sistema de condicionamento artificial e iluminação artificial.

A aplicação de cada um dos *procedimentos* está exemplificada para as condições climáticas típicas da cidade de Recife. Os dados relativos às características físicas dos materiais e componentes construtivos estão listados no Anexo.

ABSTRACT

The approach of this work refers to the aspects of thermal comfort, natural lighting conditions and energy conservation in building design.

It's main purpose is to transfer to the building designers the basic informations to select the solutions that promote comfort conditions in the buildings with minimum consumption of electric energy. The way adopted to transfer these informations to the building designers was the formulation of *procedures* to apply in the stage of schematic design and design development of buildings. These *procedures* refers to the treatment of climatic data, thermal and daylight performance evaluation and consumption of electric energy associated to the use of air-conditioning and illuminating system .

The applications of the *procedures* are exemplified to the climatic conditions of Recife city. The data of buildings components are related at the end of the work.

INDICE

1. **INTRODUÇÃO/1**
2. **DO PROCESSO DE PROJETO E DA APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS QUE GARANTEM AS CONDIÇÕES DE CONFORTO E A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA/8**
3. **DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO/14**
 - 3.1 Considerações Gerais/16
 - 3.2 Procedimentos para Elaboração do Diagnóstico Climático (PDC)/19
 - 3.2.1 Levantamento e Tratamento dos Dados Climático (PDC1)/20
 - 3.2.2 Carta Bioclimática (PDC2)/59
 - 3.2.3 Parâmetros Básicos para a Concepção do Projeto (PDC3)/75
4. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO/80**
 - 4.1 Considerações Gerais/81
 - 4.1.1 Exigências Humanas de Conforto Térmico/81
 - 4.1.2 Critérios para Avaliação do Desempenho Térmico/90
 - 4.1.3 Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico/95
 - 4.2 Procedimentos para Avaliar o Desempenho Térmico da Edificação(PDT)/104
 - 4.2.1 Determinação das Condições de Conforto Térmico (PDT1)/106
 - 4.2.2 Cálculo da Temperatura do Ar Interior (PDT2)/110
 - 4.2.3 Cálculo da Temperatura Superficial (PDT3)/126
5. **ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA PARA CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL/145**
 - 5.1 Considerações Gerais/146
 - 5.2 Procedimentos para Estimar o Consumo de Energia Elétrica para Condicionamento (PCEC)/148
 - 5.2.1 Determinação das Condições de Conforto (PCEC1)/149
 - 5.2.2 Estimativa do Consumo de Energia Elétrica(PCEC2)/151

- 6. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO NATURAL DA EDIFICAÇÃO/163**
 - 6.1 Considerações gerais/163
 - 6.2 Procedimentos para Avaliar o Desempenho Luminoso Natural da Edificação (PDL)/168
 - 6.2.1 Determinação das Condições de Conforto Luminoso (PDL1)/171
 - 6.2.2 Determinação do FLD médio(PDL2)/176
 - 6.2.3 Estimativa da Eficiência Luminosa da Abertura (PDL3)/188

- 7. **ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA PARA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL/191**
 - 7.1 Considerações Gerais/191
 - 7.2 Procedimentos para Estimar o Consumo de Energia Elétrica para Iluminação (PCEI)/192
 - 7.2.1 Estimativa do Consumo de Energia Elétrica (PCEI1)/192
 - 7.2.2 Otimização do Consumo de Energia Elétrica: Eficiência Luminosa x Eficiência Térmica das Aberturas(PCEI2)/194

- 8. **APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS/197**
 - 8.1 Procedimentos para Apresentação dos Resultados/197

- 9. **CONCLUSÕES/199**

- 10. **BIBLIOGRAFIA/204**

ANEXO A.

A Normalização Brasileira e a Conservação de Energia Elétrica/212

ANEXO B.

Dados para Subsidiar a Aplicação dos Procedimentos/217

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho, antes de uma proposta é um registro. Registro de reflexões e conclusões sobre uma área de conhecimento que se consensuou denominar conforto ambiental e , que nos últimos anos passou a incorporar os aspectos de conservação de energia nas edificações.

O processo que permitiu tais reflexões e a reunião de dados e conclusões, vem ocorrendo ao longo dos últimos vinte anos , e é decorrência de atividades de pesquisa, atividades didáticas e , nos últimos sete anos, atividades de consultoria junto aos profissionais de arquitetura.

Não leia-se no exposto acima que os tais "vinte anos" implicaram na formação de um "expert" no assunto, mas leia-se, sim, que foram suficientes para gerar dúvidas, criar preconceitos e desfazê-los, buscar meios e canais de interação com projetistas e, finalmente, arriscar uma proposta. Uma proposta tendo como objetivo primeiro , *estruturar um instrumento de trabalho onde os aspectos do conforto térmico , conforto luminoso e conservação de energia possam ser equacionados de modo a subsidiar as decisões dos projetistas de edificações.*

Ao iniciar este trabalho, foram enfrentados dois desafios:

a. *rever métodos , conceitos e procedimentos de abordagem do aspecto técnico das questões ligadas ao conforto térmico, conforto luminoso e a conservação de energia nas edificações ,*

b. *buscar identificar "momentos do processo de projeto de edificações " onde a informação pudesse ser incorporada pelo projetista, sem ser entendida como uma restrição ou uma condenação da solução construtiva escolhida, mas como um subsídio que o estimulasse a enfrentar o desafio de encontrar soluções técnicas adequadas.*

Sem dúvida, o primeiro desafio, que implicaria em selecionar, organizar e estruturar sequências de procedimentos de cálculo e critérios para

garantir o desempenho satisfatório da edificação do ponto de vista do conforto e da conservação de energia elétrica, estava longe de se caracterizar como um problema resolvido. Pelo contrário, caracterizava-se por exigir decisões sem nenhuma referência em documento normativo brasileiro que pudesse parametrizar qualquer escolha. Assim foi com a seleção de índices de conforto ou a escolha do método para estimar a temperatura do ar ambiente do interior das edificações.

Dentro ,ainda, das questões denominadas "técnicas" tinha-se como ponto de partida o fato de os aspectos de conforto térmico e conforto luminoso tradicionalmente serem tratados separadamente: profissionais que atuam em uma das áreas, por razões que decorrem da própria complexidade da matéria , tendem à especialização. Se por um lado essa tendência gera profissionais altamente competentes, por outro lado , perde-se a visão do todo, que é a informação que deve ser transmitida aos projetistas. Poder-se-ia acrescentar aqui os aspectos de conforto acústico, outro universo bastante complexo e que exige a participação de profissionais especializados.

Dentro desse contexto constatou-se, quando da definição do tema a ser objeto de trabalho desta tese, a impossibilidade de tratar-se conjuntamente dos três aspectos: térmicos , de iluminação e acústicos , que , quando do desenvolvimento do projeto arquitetônico, guardam total dependência entre si. Essa impossibilidade , evidentemente decorreu da incapacidade da autora em manifestar-se sobre esse conjunto de temas: foi necessário centrar-se nos aspectos sobre os quais haviam sido reunidas informações e resultados de pesquisa e de consultoria ao longo da atividade profissional. Assim, o aspecto relativo ao conforto acústico foi excluído do escopo deste trabalho.

Ainda em relação à necessidade de tratamento conjunto dos três aspectos dentro do processo de desenvolvimento do projeto de edificações, vale registrar que a atividade de consultoria tem revelado um desafio *fascinante*: só é possível encontrar soluções satisfatórias para o projeto, se a interação dos profissionais que trabalham as questões de conforto térmico, conforto acústico e conforto luminoso acontecer *contínua e intensamente junto aos projetistas e ao próprio cliente*. Fora dessa interação são poucas as possibilidades de alcançar-se um resultado satisfatório, até porque existem responsabilidades a serem divididas entre os vários

intervenientes no processo de produção dos edifícios. Não se poderá responsabilizar o autor do projeto pelo excessivo consumo de energia elétrica ou pelo desempenho acústico inadequado, se as decisões tomadas foram calcadas em condicionantes impostas pelo cliente.

Atuar nesse universo, composto de uma quantidade significativa de variáveis técnicas, interações com projetistas, inexistência de normalização e, particularmente, acumulando registros de edificações com desempenho inadequado, apontado não só pelos usuários mas pelos próprios projetistas, resultou em um esforço em duas vertentes:

1. *reunir elementos para discussão técnica com profissionais que atuam na área, e, principalmente,*

2. *transferir aos projetistas parâmetros e procedimentos que, além de subsidiar suas decisões, funcionem como um "padrão" de comunicação com os especialistas.*

1. A reunião dos elementos para discussão técnica exigiu não só a revisão dos métodos de cálculo para avaliação do desempenho térmico, luminoso e estimativa do consumo de energia das edificações, mas a busca de alternativas para que a aplicação dos mesmos se tornasse viável sem a complexidade que muitas vezes inviabiliza tal aplicação.

O desafio, porém, mais significativo que se colocou nesse processo foi a formulação de procedimentos que apresentassem uma coerência aceitável quando os aspectos de conforto térmico, conforto luminoso e a conservação de energia elétrica fossem tratados como um todo, não só em termos de linguagem mas, principalmente, em termos de etapas integradas dentro do processo de projeto. Disto resultou significou uma abordagem unificada para os aspectos tratados, em termos da estrutura de apresentação, envolvendo: *a definição das exigências de conforto, a identificação de critérios de desempenho e a seleção dos métodos para avaliar o desempenho* das alternativas de projeto adotadas.

A definição das *exigências de conforto e dos critérios de desempenho*, por si só, implicou numa tarefa intrincada, pois não existe normalização ou qualquer

referência voltada às edificações que sejam climatizadas ou iluminadas naturalmente. Esta ausência de referência levou a ações em três direções distintas: análise e crítica das referências internacionais, análise e crítica das referências nacionais e *proposição de alternativas* que, pelas razões expostas no decorrer do trabalho, poderiam ser adotadas como ponto de partida. Evidentemente, em um segundo momento será necessário que todo o conjunto seja devidamente questionado e, naturalmente, revisto quando necessário.

O exposto no parágrafo anterior pode ser exemplificado pelo proposta dos índices de conforto térmico que poderiam ser adotados, tanto para condicionamento natural como artificial: a única referência brasileira é a Norma NBR 6401-Instalações centrais de ar condicionado para conforto:parâmetros básicos de projeto- Procedimentos, formulada em 1978 e que que não sofreu nenhum processo de revisão desde então. A necessidade de revisão dessa Norma é evidente, particularmente por dois aspectos: se aplica indiscriminadamente à todas regiões brasileiras sem considerar os características climáticas locais e a capacidade de aclimação da população à tais características e não incorpora aspectos evidentes que decorrem da crise energética amplamente discutida há pelo menos dez anos e que tende a agravar-se.

Situação semelhante é a da Norma destinada à iluminação de interiores, a NBR 5413-Iluminação de Interiores, de 1982 .Ao aplicar essa Norma, o projetista brasileiro está, cotidianamente especificando soluções cuja potência é da ordem de 40W/m², enquanto a introdução de novos conceitos em iluminação artificial e a otimização da iluminação natural poderia reduzir aquele valor para 12 W/m², que é uma situação comum, hoje na Europa.

Quanto aos *métodos de cálculo* a serem aplicados na avaliação do desempenho térmico, desempenho luminoso e na estimativa do consumo de energia elétrica na fase de uso da edificação, a situação brasileira é ainda mais inadequada, pois, além de não fazerem parte de nenhum documento normativo, não fazem parte sequer da formação dos profissionais que atuam na área de engenharia ou arquitetura.

Esse fato dificulta até mesmo a avaliação do grau de receptividade dos procedimentos propostos neste trabalho. O hábito de *não* aplicá-los impede que se meça, a priori, a quantidade de informação que precisaria ser transferida para viabilizar sua aplicação.

Um outro problema: a aplicação dos métodos de cálculo exige uma quantidade significativa de dados que se referem às características físicas dos materiais e componentes construtivos, não disponíveis, pois, na medida que não existe demanda para os mesmos, os produtores não tem "motivos" para fornece-los.

Observe-se , por exemplo, que um catálogo técnico de um produto como o vidro raramente inclui resultados de ensaios relativos à transmissão luminosa ou fator solar, que são dados fundamentais para avaliação do desempenho térmico e luminoso desse componente. O mesmo ocorre com um simples bloco cerâmico, cujo valor da transmitância térmica não é declinado em nenhum catálogo.

Acrescente-se, a tais dificuldades, a ausência de dados meteorológicos: sem uniformidade na sistemática de registro , sem tratamento adequado para serem aplicados às atividades de projeto e raramente publicados, tornam-se um entrave quando se deseja trabalhar com séries confiáveis e representativas de uma dada região climática. Essa dificuldade básica de acesso às informações meteorológicas , acabou por gerar, entre os profissionais que atuam na área, o consenso que este é o ponto de partida: sistematizar e divulgar amplamente tais informações. é uma tarefa inadiável, pois da confiabilidade desses dados decorre a precisão com que serão desenvolvidos e avaliados os projetos .

Quanto aos aspectos do consumo de energia elétrica pelas edificações, as ações futuras deverão, necessariamente, decorrer de uma ampla discussão no meio técnico, pois o agravamento da crise poderá levar à *imposição de soluções* que atuem no sentido de limitar e/ou prescrever alternativas construtivas , que em nada contribuem para a prática da arquitetura.

Incorporar na atividade de projeto a prática de avaliar o desempenho térmico da edificação, desempenho luminoso, estimar o consumo de energia , testar alternativas, enfim, deter toda essa informação à favor do desenvolvimento e defesa do projeto, pode significar uma preparação para a discutir e propor alternativas para qualquer legislação que venha a se caracterizar por regras rígidas ou restrições impositivas.

2. *A transferência, aos projetistas, dos parâmetros e procedimentos que, além de subsidiar suas decisões, funcionem como um "padrão" de comunicação com os*

especialistas, exigiu uma reflexão sobre a experiência e as observações reunidas durante a atividade de consultoria aos projetistas das edificações. Uma constatação importante nessa interação "especialista em conforto/projetista" é que essa interação é tanto mais eficiente e produtiva, quanto maior a quantidade de informações sobre o assunto (conforto) o projetista detem, por um lado, e por outro lado, quanto maior a receptividade do especialista nos aspectos que dizem respeito ao processo de criação que é intrínseco à atividade de projeto.

Esta verificação, em última análise, acabou por definir a estrutura do presente documento, que se caracteriza por:

a. transferir ao projetista as informações técnicas básicas, que são os instrumentos de trabalho dos dois profissionais (ficando, assim, estabelecida uma linguagem padrão que facilita o diálogo), e,

b. adotar procedimentos de avaliação de desempenho que "libera " o projetista para propor "criativamente " qualquer solução formal .

Ao adotar os procedimentos de avaliação de desempenho eliminaram-se as proposições prescritivas, elementos que sem dúvida representam um entrave ao processo criativo que envolve o desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Dado o exposto nos parágrafos anteriores, a estrutura do presente trabalho procurou, em 6(seis) capítulos (3º ao 8º), apresentar uma sequência de procedimentos compatível com o "ritmo" de desenvolvimento do projeto arquitetônico. Assim, o ponto de partida (capítulo 3) é o procedimento para elaboração do *Diagnóstico Climático*, que subsidia a fase da concepção do projeto e através do qual é possível identificar e caracterizar as variáveis climáticas que interferem na escolha das alternativas construtivas. Observe-se que tais variáveis são os subsídios para a aplicação dos procedimentos seguintes

Já na fase do projeto básico, são aplicados os procedimentos destinados à *avaliação do desempenho térmico* (capítulo 4) e à *estimativa do consumo de energia elétrica* (capítulo 5) que decorre da solução construtiva adotada. O resultado da aplicação desses procedimentos permite que sejam comparadas várias soluções de projeto.

Ainda na fase do projeto básico são aplicados os procedimentos destinados à *avaliação do desempenho luminoso* (capítulo 6) e à *estimativa do consumo de energia elétrica* (capítulo 7) associada à otimização da iluminação natural. Também aqui é possível ao projetista comparar várias alternativas e reunir elementos para decidir-se por uma delas.

Finalmente, o capítulo 8 sugere um procedimento para *apresentação dos resultados* obtidos no processo de desenvolvimento do projeto. Dessa apresentação constam as informações que subsidiaram as decisões e a estimativa do desempenho térmico, desempenho luminoso e o consumo de energia elétrica que caracterizará a fase de uso da edificação.

Cabe ,ainda, observar que dessa apresentação constam informações importantes, particularmente para os *usuários* da edificação, pois declaram, entre outras informações, a frequência com que será necessário o acionamento do sistema de condicionamento artificial e do sistema de iluminação artificial, assim como o consumo de energia elétrica previsto para manter as condições de conforto nos ambientes.

Com o objetivo de registrar o empenho do meio técnico em buscar soluções para as questões abordadas neste trabalho , no Anexo A está comentado um Programa de Ação elaborado em janeiro de 1991, com o objetivo de subsidiar a Normalização e a Legislação Brasileira no que se refere aos aspectos de conforto ambiental e conservação de energia elétrica nas edificações.

2. DO PROCESSO DE PROJETO E DA APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS QUE GARANTEM AS CONDIÇÕES DE CONFORTO E A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os procedimentos para o desenvolvimento e avaliação de projetos arquitetônicos aqui formulados, tem por objetivo principal reunir as informações que assegurarão ao projetista o desempenho satisfatório da edificação ,na sua fase de utilização. O desempenho mencionado refere-se aos aspectos de conforto térmico, conforto luminoso e consumo de energia elétrica.

A sequência de procedimentos aqui proposta deve ser aplicada tanto na fase de concepção do projeto arquitetônico, como nas fases de desenvolvimento do projeto básico e do projeto executivo.

Dessas três fases, a que apresenta a maior oportunidade de garantir o desempenho satisfatório na fase de uso da edificação é a fase em que o projeto básico é decidido. Segundo Hirst,E., et al.(1986)(44), que citam dados da AIA American Institute of Architects, o potencial de conservação de energia na fase do projeto básico é da ordem de 40% a 50%. Segundo os mesmos autores, na fase do ante-projeto esse potencial é da ordem de 0% a 10% , e de 10% a 20% na fase de ocupação.

O conjunto de procedimentos proposto para ser aplicado na fase de desenvolvimento do ante-projeto (concepção) caracteriza-se , em última análise, pela interpretação do perfil climático da região e adoção de parâmetros que tornarão a edificação adequada àquelas condições de exposição.

Já na fase de desenvolvimento do projeto básico, os procedimentos propostos buscam instrumentalizar o projetista na avaliação das decisões tomadas, sejam decisões que impliquem em alterações do comportamento térmico sejam decisões que afetem o desempenho luminoso dos ambientes

Ainda nessa fase do projeto básico, avaliado o desempenho do mesmo, o projetista terá elementos para justificar as alternativas adotadas, e mais, instruir o projetista do sistema de condicionamento artificial e sistema de iluminação artificial no desenvolvimento desses projetos.

Em seguida, na fase de desenvolvimento do **projeto executivo**, de posse dos **resultados da avaliação do projeto básico**, o projetista poderá apresentar junto com o detalhamento da solução arquitetônica adotada, uma descrição do provável desempenho da edificação quando a mesma entrar na sua fase de uso.

No quadro da Figura 1 essas **tres fases do processo de projeto** estão assinaladas, assim como os procedimentos que devem ser aplicados em cada uma delas

Aqueles procedimentos estão detalhados ao longo deste trabalho, e poderiam ser resumidas em **6 Procedimentos fundamentais** (ver Figura 1):

- a. **Diagnóstico Climático;**
- b. **Avaliação do Desempenho Térmico;**
- c. **Avaliação do Desempenho Luminoso;**
- d. **Estimativa do Consumo de Energia Elétrica para Condicionamento Artificial;**
- e. **Estimativa do Consumo de Energia Elétrica para Iluminação Artificial;**
- f. **Apresentação dos Resultados**

Na fase de concepção do projeto (**ante projeto**), os Procedimentos a serem aplicados referem-se basicamente ao **Diagnóstico Climático**. No texto deste trabalho, esses Procedimentos recebem a denominação **PDC**. As informações fundamentais para definir regras para implantação da edificação, sua geometria e localização no terreno e, principalmente, a possibilidade de dispensar ou não o condicionamento artificial, são obtidas através da aplicação desse Procedimento (**PDC**).

Na fase seguinte, desenvolvido o **projeto básico**, o projetista deverá realizar a etapa mais crítica do processo, uma vez que a **maior oportunidade** de garantir o desempenho satisfatório da edificação na sua fase de uso, encontra-se nesse momento.

Observar que é exatamente na fase do desenvolvimento do **projeto básico** que ocorre o maior número de interações: todas as avaliações, quer do desempenho

■ térmico, quer do desempenho luminoso, devem realimentar o projeto, de modo que as condições de conforto e a conservação de energia seja assegurada na fase de uso da edificação.(Ver Figura 1)

Os Procedimentos que devem ser aplicados ao **projeto básico** referem-se basicamente à **avaliação do desempenho térmico, desempenho luminoso e estimativa do consumo de energia elétrica.** (ver Figura 1)

Ao final do processo, concluído o **projeto executivo**, o projetista poderá apresentar uma **síntese do processo que gerou sua proposta final**, destacando as características climáticas regionais e suas implicações , assim como a estimativa do desempenho térmico, luminoso e consumo de energia que deverá ocorrer na fase de uso da edificação.Tal síntese terá a função de esclarecer responsabilidades na medida em que o conjunto de decisões que levam à concretização do produto final é o resultado da interação de profissionais de diferentes formações e, principalmente, da interação desses profissionais com o cliente e/ou usuários

Por outro lado, considerando que a tendência da legislação é transferir aos projetistas a responsabilidade pelo desempenho da edificação na sua fase de uso, evitando com isso códigos prescritivos e limitantes , será fundamental que esses profissionais disponham de mecanismos que permitam estimar o desempenho das edificações, e , dessa forma, responder com segurança à possíveis acusações que os responsabilizem por inadequações ao uso.

Fases do Projeto Arquitetônico e Aplicação dos Procedimentos

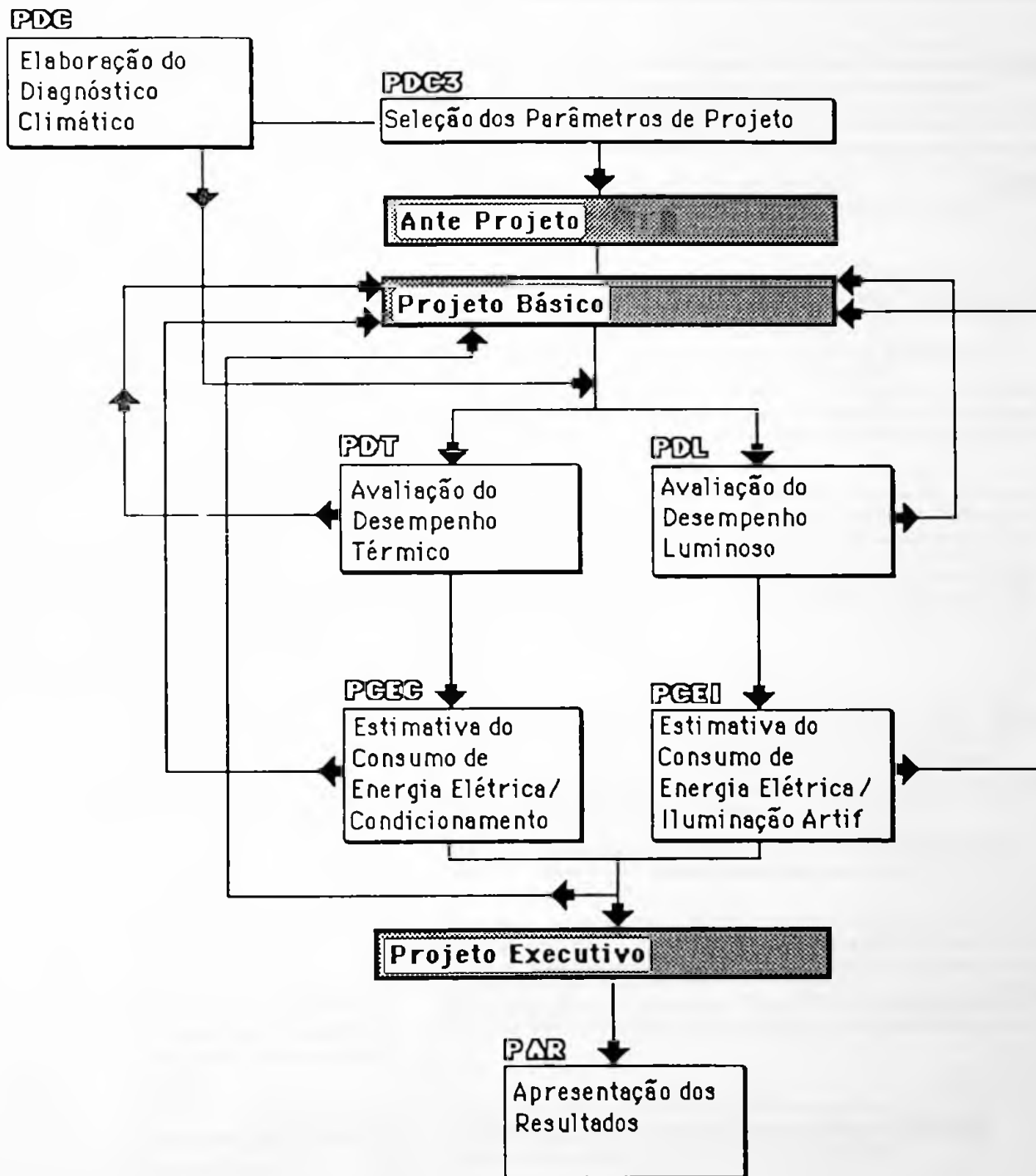


Figura 1: Sequência de ações para desenvolvimento e avaliação de projeto arquitetônico.

Na Figura 2, estão detalhados os Procedimentos acima listados. Observar que nessa Figura estão mencionadas as siglas que identificam os **Procedimentos** e o número do capítulo que corresponde à descrição de cada Procedimento neste trabalho.

Procedimentos para Desenvolver e Avaliar Projetos Arquitetônicos
Enfase: Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica

Item *	Procedimentos
3.2	<p>PDC</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Elaboração do Diagnóstico Climático </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Levantamento e Tratamento Dados Climáticos</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Elaboração da Carta Bioclimática/Balanco Horário</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Seleção dos Parâmetros de Projeto</div> </div> </div>
4.2	<p>PDT</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Avaliação do Desempenho Térmico </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Determinação das Condições de Conforto Térmico</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Cálculo da Temperatura Ar Interior</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cálculo da Temperatura Superficial dos Componentes</div> </div> </div>
5.2	<p>PCEC</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Estimativa do Consumo de Energia Elétrica/Condicionamento </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Determinação das Condições de Conforto Térmico</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Estimativa do Consumo de Energia Elétrica/Condicionamento</div> </div> </div>
6.2	<p>PDL</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Avaliação do Desempenho Luminoso </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Determinação Condições Conforto Luminoso</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Determinação do Fator de Luz Diurna(FLD)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Determinação da Eficiência Luminosa</div> </div> </div>
7.2	<p>PCEI</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Estimativa do Consumo de Energia Elétrica/Iluminação Artif </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Estimativa do Consumo de Energia Elétrica/Iluminação</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Otimização do Consumo Total/Condicionamento e Iluminação</div> </div> </div>
8.2	<p>PAR</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> Apresentação dos Resultados </div> <div style="width: 65%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Elaboração da Ficha de Desempenho</div> </div> </div>

* Correspondem aos itens deste trabalho.

Figura 2: Identificação dos Procedimentos propostos neste trabalho para desenvolvimento e avaliação do projeto arquitetônico

A aplicação desse conjunto de **Procedimentos** deve ser realizada pelo projetista na sequência proposta na Figura 1. Apesar dos Procedimentos aqui propostos terem sido elaborados de forma que sejam passíveis de aplicação sem o recurso da informática, será perfeitamente possível (e desejável) estruturar a sequência de Procedimentos em programas (softwares) que facilitarão enormemente a tarefa dos projetistas.

Observar que tanto os critérios de avaliação como os métodos de cálculo aqui abordados não são objeto da Normalização Brasileira¹. Dessa forma, a sequência dos procedimentos proposta pode significar uma contribuição à essa Normalização, mesmo que os parâmetros para aceitar ou rejeitar um projeto arquitetônico venham a ser estabelecidos futuramente. Este é o caso, por exemplo, dos "índices de desempenho energético" que, objeto de muita polêmica e discussão, deverão ser necessariamente adotados para minimizar os problemas que envolvem a conservação de energia.

Difícilmente, hoje, poderiam ser estabelecidos limites para o consumo de energia elétrica nas edificações, uma vez que não estão disponíveis dados que parametrizem a fixação desses limites e que permitiriam adotar valores compatíveis com a realidade brasileira (e diversidade regional).

No entanto, seria evidentemente um passo à frente, se o processo de produção dos projetos pudesse ser acompanhado de uma avaliação do tipo daquela aqui proposta, pois a prática dessa sistemática poderia ser uma preparação para a futura e inevitável legislação. Tal prática produziria fatos concretos e questionamentos pertinentes que levariam os profissionais à participação efetiva na formulação de uma futura legislação. Este seria então um elemento decisivo na credibilidade daquelas leis e normas, e, conseqüentemente sua aplicabilidade estaria assegurada.

¹ Da normalização brasileira constam apenas os níveis de iluminância (adotados neste trabalho), e os limites de temperatura de conforto para ambientes condicionados artificialmente (questionados neste trabalho).

3. DIAGNOSTICO CLIMATICO

O **Diagnóstico Climático** de uma região compreende a identificação de um conjunto de parâmetros relativos ao clima que interferem, direta ou indiretamente, nas decisões de projeto.

O simples levantamento e tratamento dos dados meteorológicos não geram, por si só, os subsídios necessários para "alimentar" o desenvolvimento do projeto da edificação. É preciso que tais informações sejam interpretadas e acompanhadas de **recomendações claras e objetivas**, e que resultem em decisões que vão desde a geometria e implantação mais adequada para a edificação até a escolha da posição das luminárias no interior dos ambientes.

Para efeito do que trata este trabalho, cujo objeto de estudo envolve o conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia nas edificações, o **Diagnóstico Climático** fica caracterizado quando são *realizadas* as seguintes etapas:

- a. **Etapa 1:** Levantamento e tratamento dos dados meteorológicos : temperatura, umidade relativa, radiação solar e ventos;
- b. **Etapa 2:** Elaboração da **Carta Bioclimática e Balanço Horário das Solicitações Térmicas**;
- c. **Etapa 3:** Seleção dos **parâmetros básicos de projeto**.

Para realização dessas Etapas, este capítulo propõe os **Procedimentos PDC1, PDC2 e PDC3** . Observar que o conjunto desses três Procedimentos definem o **Procedimento PDC**, correspondente à tarefa de realização do **Diagnóstico Climático** (Ver quadro da Figura 2)

O item 3.1 traz considerações gerais sobre a questão do **Diagnóstico Climático** visto sob a ótica da geração de parâmetros para projeto arquitetônico, e as várias abordagens que o tema tem recebido tanto de pesquisadores nacionais como estrangeiros.

No item 3.2 estão apresentados e discutidos os **Procedimentos** para

elaboração do **Diagnóstico Climático** de qualquer região climática e o conjunto de parâmetros para projeto que podem ser formulados a partir do **Diagnóstico Climático**.

3.1 Considerações Gerais

O tratamento dos dados climáticos com o objetivo específico de subsidiar a atividade de projeto de edificações (e de planejamento urbano) passou a receber tratamento sistemático e a repercutir no meio técnico, em 1953, com a publicações de Olgyay, V. e Olgyay, A., (4) sob o título "Application of Climatic Data to House Design" .

Em 1963, esses mesmos autores, com a divulgação de "Design With Climate"(4), marcaram definitivamente uma posição no assunto, ao apresentarem procedimentos para tratamento dos dados climáticos e sua aplicação ao dimensionamento de componentes construtivos. Outros autores, no mesmo período realizaram trabalhos semelhantes mas centravam-se nos aspectos relativos à definição das "zonas de conforto", sem fazer as associações com o projeto arquitetônico (ou planejamento urbano) propriamente dito.

A preocupação com o tema, tomou impulso significativo na década de 70, com a crise do petróleo. Particularmente nos países de inverno rigoroso, onde o aproveitamento da energia solar representa economia significativa de energia, o assunto passou a ser tema de lei e/ou de norma. Grupos de pesquisa dentro das Universidades e/ou Instituições de Pesquisa passaram a receber incentivos para buscar não só soluções arquitetônicas mais adequadas como métodos e procedimentos de cálculo que subsiassem as atividades de projeto. Esse esforço deu seus principais frutos na área de condicionamento artificial, no desenvolvimento de programas de cálculo e na utilização de isolantes térmicos.

O tratamento dessas questões gerou, necessariamente a definição dos procedimentos para tratamento dos dados climáticos, particularmente dos dados de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar. De um modo geral, os serviços de meteorologia dos países que tomaram consciência da importância da conservação de energia nas edificações , passaram a tratar e publicar os dados climáticos que caracterizavam as condições de verão e de inverno para as diferentes regiões do país e assim, uniformizar as informações a serem consideradas nos cálculos para avaliação do desempenho térmico e estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento.

O procedimento para o tratamento dos dados climáticos tem variado de autor para autor e de país para país. Evidentemente a metodologia adotada depende do objetivo que se quer alcançar: a ASHRAE (11), voltada particularmente para o condicionamento artificial, propõe um tratamento estatístico para os dados de temperatura, selecionando para cada cidade americana², os valores de temperatura de bulbo seco do ar que ocorrem com frequência igual ou superior a 99% e 97.5% do total de horas do período de inverno (junho, julho e agosto), e temperaturas de bulbo seco e úmido que ocorrem com frequência igual ou superior a 1%, 2.5% e 5% do total de horas do período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Observar, que a definição desses valores significa que são conhecidos os **registros horários** dessas temperaturas, por períodos de pelo menos 10(dez) anos.

Outros países, como a Espanha, França, Itália, Portugal, cujas Normas estabelecem limites para a transmissão térmica dos componentes, associam valores de "temperatura de cálculo" às zonas climáticas (de verão e de inverno) identificadas para cada país. Essas zonas climáticas, assim como os valores da temperatura de cálculo fazem parte do corpo da Norma desses países.

As chamadas temperaturas de cálculo são definidas a partir de análises de frequência de ocorrência, mas os valores limites adotados, em geral, não são divulgados.

Metodologia semelhante à proposta pela ASHRAE, tem sido adotada pelo IPT(17), que sugere a identificação das temperaturas de cálculo a partir da análise da frequência de ocorrência das temperaturas máximas diárias (para os meses identificados como de verão) e mínimas diárias (para os meses identificados como de inverno).

Nota: O IPT(17) sugere que os meses de verão sejam identificados através do seguinte procedimento:

- a. identificação do mes com maior temperatura média das máximas ($T_{MAX\uparrow}$);
- b. identificação dos meses considerados de verão, como sendo aqueles que apresentam temperatura média das máximas (T_{MAX}) que obedeçam ao seguinte critério:

$$T_{MAX} = T_{MAX\uparrow} \quad \text{ou} \quad T_{MAX} > T_{MAX\uparrow} - \partial,$$

sendo $\partial = 0.10 \cdot (T_{MAX\uparrow} - T_{MIN\uparrow})$, onde $T_{MIN\uparrow}$ é a temperatura mínima do mes identificado como o mais quente.

Procedimento semelhante é sugerido para identificar os meses de inverno.

² Publicações da ASHRAE (Fundamentals/1977)(11), contém também dados para várias cidades do mundo, inclusive 10 cidades brasileiras, mas o período analisado não é citado, assim como a fonte dos dados.

A metodologia proposta pelo IPT implica, da mesma forma que a aquela proposta pela ASHRAE, que se tenha acesso aos registros **horários** de temperatura, por longos³ períodos de tempo (ou pelo menos registros diários das temperaturas máximas e mínimas). A divulgação, no Brasil dos dados meteorológicos não é uma prática das Instituições responsáveis pela coleta e tratamento dos mesmos. Além das diferenças que ocorrem de Instituição para Instituição nas técnicas de registro e tratamento dos dados meteorológicos, esses dados não são de domínio público e só podem ser obtidos (em algumas Instituições) mediante o pagamento das cópias das planilhas dos registros.

O equacionamento de tal situação somente ocorrerá quando for definida a normalização destinada a orientar projetistas nas questões de conforto térmico e conservação de energia elétrica das edificações, que necessariamente deverá incluir os parâmetros de clima devidamente sistematizados para as distintas regiões do país.

Dado o contexto acima exposto e a necessidade de resolver-se a questão a curto prazo, para os fins a que se destina este trabalho, optou-se uma sistemática para tratamento dos dados climáticos que possa ser reproduzida sem maiores dificuldades pelos projetistas, mas que garanta uma precisão aceitável.

Assim, com base nos registros de dados climáticos divulgados pelo IBGE(32), que constam dos Anuários Estatísticos, é possível a aplicação dos procedimentos sugeridos neste trabalho para elaboração do diagnóstico climático de qualquer região. Outras fontes de dados poderão ser usadas pelos projetistas, para completar as informações, como por exemplo dados relativos aos ventos e radiação solar.

³ O IPT recomenda como ideal, para análise dos dados climáticos, períodos de registro entre 10 e 15 anos, dos quais devem ser excluídos os anos atípicos.

3.2 Procedimentos para Elaboração do Diagnóstico Climático (PDC)

São três os procedimentos para elaboração do Diagnóstico Climático de qualquer região climática. Esses procedimentos, descritos neste item, recebem a denominação de PDC1, PDC2 e PDC3 e correspondem à realização das três Etapas já citadas:

- a. **Etapa 1: Levantamento e Tratamento dos Dados Meteorológicos :** temperatura, umidade relativa, radiação solar, insolação, temperatura ar-sol, iluminância e ventos (PDC1);
- b. **Etapa 2: Elaboração da Carta Bioclimática e Balanço Horário das Solicitações Térmicas (PDC2);**
- c. **Etapa 3: Seleção dos Parâmetros Básicos de Projeto (PDC3).**

O levantamento e tratamento dos dados climáticos é a base para realização de todas as tarefas subsequentes: identificação dos parâmetros para concepção do projeto, avaliação do desempenho térmico e luminoso do projeto básico e estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento e iluminação artificial dos ambientes da edificação.

A **Carta Bioclimática e o Balanço Horário das Solicitações Térmicas**, que fornece as informações para identificar *recursos* de projeto que permitem adequar a edificação a esse clima, deve ser construída com base nos dados mensais de temperatura e umidade relativa (pressão de vapor), independentemente dos períodos de verão e de inverno.

O conjunto dos **dados climáticos devidamente tratados** e as informações fornecidas pela **Carta Bioclimática e Balanço Horário das Solicitações Térmicas** fornecem os parâmetros básicos para a concepção do **ante-projeto**

Os itens que seguem descrevem tais Procedimentos . Para efeito de ilustração, cada Procedimento está exemplificado para as condições climáticas de Recife.

3.2.1 Levantamento e Tratamento dos Dados Climático(PDC1)

Objetivo:

Levantamento e tratamento dos dados climáticos da região onde se executará a edificação.

Dados necessários:

1. Identificação do posto meteorológico mais próximo da área em estudo ;
2. Registro, para os doze meses, dos valores médios diários da temperatura máxima e mínima ;
3. Registro, para os doze meses, dos valores médios diários da umidade relativa máxima e mínima;
4. Registro, para os doze meses, dos valores médios diários de insolação ou radiação solar, nas 8 orientações e em plano horizontal;
5. Registro, para os doze meses, dos valores médios mensais da velocidade e direção dos ventos (sempre que possível devem ser identificados os valores horários da velocidade e direção dos ventos);
6. Registro, para os doze meses, dos valores médios da pressão atmosférica.

A. Escolha do Posto Meteorológico

De um modo geral, o projetista não dispõe dos dados meteorológicos que necessitará para o diagnóstico climático pelas razões já expostas anteriormente.

A regra geral deverá ser a seleção de uma série de dados contidos nas publicações do IBGE(1) ou outras fontes que tenham publicado dados para a região e que divulgam, em geral, os valores médios mensais das seguintes variáveis:

- a. temperatura (média das máximas e das mínimas, máxima e mínima absolutas, média compensada);
- b. umidade relativa ;
- c. pressão atmosférica;
- d. insolação total
- e. nebulosidade⁴

No entanto, se o projetista dispõe de mais de uma fonte de informação meteorológica na mesma região, na escolha dos dados deve orientar-se pelo seguinte critério⁵ (ver Figura 3):

- a. a distância entre o local destinado à execução da edificação e o posto meteorológico deve ser a menor possível, respeitando-se contudo as características topográficas da região;
- b. apesar de d_1 ser inferior a d_2 os dados registrados em P_2 (posto 2) são mais representativos para o caso em estudo do que aqueles registrados em P_1 (posto 1).

⁴ Além dessas variáveis, o IBGE(1) informa os valores relativos à precipitação (altura total e máxima em 24 horas) e evaporação.

⁵ Os critérios indicados são sugeridos pelo IPT(17).

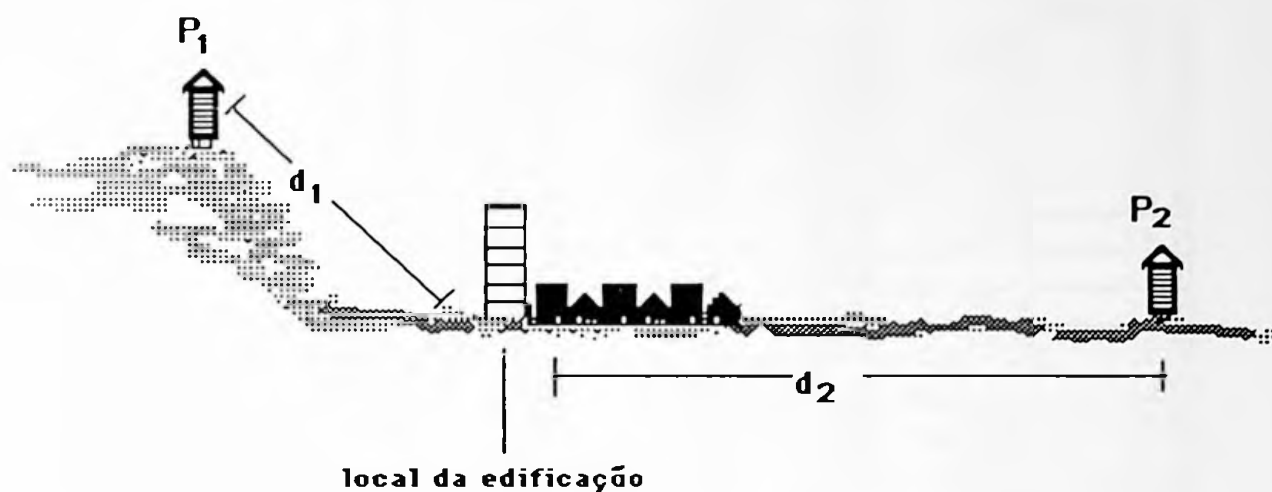


Figura 3: Parâmetros para escolha do posto meteorológico

Nota. Nos casos de área densamente urbanizadas, onde se formam as chamadas "ilhas de calor", a temperatura do ar pode atingir valores superiores em até 10°C do que aquelas registradas na periferia dessas áreas. Segundo o IPT(17), ainda não existem procedimentos formulados para realizar as correções adequadas.

B Definição do Período de Análise e Eliminação dos Anos Atípicos

Como regra geral, o IPT (17) recomenda para análise climática, uma série de 10 a 15 anos, ... "os mais recentes possíveis, tendo em vista as características de ocupação do solo"⁶. Para essa sequência de dados devem ser eliminados os anos denominados atípicos, adotando-se o seguinte critério:

1. listar os valores da média anual das temperaturas máximas e das mínimas de todos anos disponíveis (ver exemplo nos quadros das Figuras 4 e 5);

⁶ Nos casos em que sequências tão longas e/ou recentes não estejam disponíveis, podem ser utilizadas sequências com número menor de anos. A representatividade dos resultados será, evidentemente, menor.

Recife		Período: 1980 a 1984				Fonte: IBGE	
MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS							
MESES	1980	1981	1982	1983	1984	MÉDIA NO PERÍODO	
JANEIRO	30.6	29.6	29.5	30.8	30.6	30.2	
FEVEREIRO	29.7	29.2	29.3	29.8	31.5	29.9	
MARÇO	29.3	29.5	29.8	30.1	31.4	30	
ABRIL	29.2	29.4		30.2	29.7	29.6	
MAIO	28.4	28.4	28.7	29.5	29	28.8	
JUNHO	27.7	27.9	27.9	28.7	28.6	28.2	
JULHO	27.9	26.1	27.5	28.2		27.4	
AGOSTO	27.9	27.2	27.7	28.2	27.6	27.7	
SETEMBRO	28.4	27.7	28	28.8	28.6	28.3	
OUTUBRO	28.5	29	29.3	29.2		29	
NOVEMBRO	29.3	29	29.7	30	29.9	29.6	
DEZEMBRO	29.7	29.5	30	30.6	30.9	30.1	
Média/an	28.9	28.5	28.9	29.5	29.8	29.1	
					TMMAX= 29.1°C		

Figura 4: Médias das temperaturas máximas diárias no período de 1980 a 1984, para cidade de Recife

Recife		Período: 1980 a 1984				Fonte: IBGE	
MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS							
MESES	1980	1981	1982	1983	1984	MÉDIA NO PERÍODO	
JANEIRO	23	22.6	22.4	22.9	23.2	22.8	
FEVEREIRO	22.5	23.4	22.3	23.6	23.4	23	
MARÇO	22.8	22.9	22.2	23.7	23.1	22.9	
ABRIL	22.4	22.1	22.5	23	22.9	22.6	
MAIO	22.1	22.2	22	22.1	22.4	22.2	
JUNHO	21.4	21.4	21.4	21.1	21.8	21.4	
JULHO	20.9	20	21	20.5	21.3	20.7	
AGOSTO	20.2	20.6	20.2	21.2	21.2	20.7	
SETEMBRO	21.2	21.4	21.1	21.3	20.1	21	
OUTUBRO	21.3	22	21.3	21.9	21.7	21.6	
NOVEMBRO	22.1	23	22.1	20.9	22	22	
DEZEMBRO	21.9	23.9	23.1	22.3	21.9	22.6	
Média/an	21.8	22.1	21.8	22	22.1	22	
					TMMIN= 22.0°C		

Figura 5: Médias das temperaturas mínimas diárias no período de 1980 a 1984, para cidade de Recife

2. determinar o valor de Δ , definido por:

$$\Delta = 0.10 \cdot (T_{MAX} - T_{MIN}) \quad (\text{Eq 1})$$

sendo

TMAX = valor da média aritmética de todas as temperaturas médias das máximas diárias (ver figura 4), e

TMIN = valor da média aritmética de todas as temperaturas médias das mínimas diárias (ver figura 5);

Observar que para a cidade de Recife, o valor de Δ , será:

$$\Delta = 0.10 \cdot (29.1 - 22.0)$$

$$\Delta = 0.7 \quad (^\circ\text{C})$$

3. determinar, ano a ano, a diferença entre a média das temperaturas máximas do ano (T_{mx}) e a **TMAX**: sempre que essa diferença for superior a Δ , o ano deve ser eliminado (ver Figura 6);

4. determinar, ano a ano, a diferença entre a média das temperaturas mínimas do ano (T_{min}) e a **TMIN**: sempre que essa diferença for superior a Δ , o ano deve ser eliminado (ver Figura 6);

Recife	Período: 1980 a 1984			Fonte: IBGE
ANO	T_{mx}	T_{min}	$T_{mx} - T_{MAX}$	$T_{min} - T_{MIN}$
1980	28.9	21.8	-0.2	-0.2
1981	28.5	22.1	-0.6	-0.6
1982	28.9	21.8	-0.2	-0.2
1983	29.5	22	0.4	0.4
1984	29.8	22.1	0.7	0.7

T_{mx} =Temperatura média das máximas
 T_{min} =Temperatura média das mínimas

Figura 6: Cálculo do valor de ($T_{mx} - T_{MAX}$) e ($T_{min} - T_{MIN}$) para identificação dos anos atípicos no período de 1980 a 1984.

Observar nos resultados apresentados no Quadro da Figura 6 que nenhum dos 5 anos do período analisado é atípico, ou seja, todos os cinco anos devem ser computados para caracterização climática da cidade de Recife.

C Tratamento dos Dados Climáticos

Identificados os anos típicos, devem ser determinados os valores **médios mensais** das variáveis que interessam ao Diagnóstico Climático. Essas variáveis são:

- a. temperatura máxima diária
- b. temperatura mínima diária
- c. temperatura máxima absoluta do mes
- d. temperatura mínima absoluta do mes
- e. umidade relativa máxima diária
- f. umidade relativa mínima diária
- g. insolação (total diário)
- h. radiação solar media mensal⁷
- i. ventos (direção e frequência)
- j. pressão atmosférica (média mensal)

A título de exemplo, estão descritos na Figura 7, as medias das variáveis acima citadas, para a cidade de Recife, correspondentes ao período de 1980 a 1984, divulgadas pelo IBGE(32). Os dados de vento e radiação solar não são fornecidos pelo IBGE . Foram extraídos das fontes citadas na referida Figura.

Para cada uma das variáveis relacionadas acima devem ser aplicados os Procedimentos descritos no item **D**, que segue , com o objetivo de preparação dos dados para a elaboração da **Carta Bioclimática**, desenvolvimento e avaliação do desempenho térmico e luminoso do projeto básico.

⁷ Em geral, os postos meteorológicos não fazem os registros de radiação solar. A partir dos dados de insolação é possível determinar, analiticamente, os valores da radiação solar em planos verticais e horizontais, usando o algoritmo proposto por Angstrom(1924)(12) e Liu e Jordan(12). A referência bibliográfica nº 33 contém dados de radiação solar global para 200 cidades brasileiras. A referência bibliográfica nº 12 descreve programa de cálculo para determinação dos valores horários da radiação solar em plano horizontal e vertical.

DADOS CLIMATOLÓGICOS

 FONTE: IBGE
 PERÍODO: 1980 a 1984

 CIDADE: RECIFE
 LATITUDE: 08°08'S
 ALTITUDE: 11m

		j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	OBS:
TEMPERATURA °C	MAX. ABS.	31.4	31.2	31.3	31.4	29.9	29.3	28.8	29.7	29.5	30.8	30.8	31.4	
	MAX. MEDIA	30.2	29.9	30.0	29.6	28.8	28.2	27.4	27.7	28.3	29.0	29.6	30.1	
	MEDIA	26.7	26.6	26.5	26.0	25.3	24.6	23.8	24.1	24.8	25.5	26.1	26.3	
	MIN. MEDIA	22.8	23.0	22.9	22.6	22.2	21.4	20.7	20.7	21.0	21.6	22.0	22.6	
	MIN. ABS.	20.1	20.6	20.8	20.7	19.9	19.1	18.2	18.3	18.3	19.0	19.6	20.0	
UMID. RELAT. %	MAX. MEDIA													(1)
	MEDIA	75.3	78.4	80.6	83.0	84.5	85.0	83.5	81.8	79.0	76.0	74.3	74.6	
	MIN. MEDIA													
PRESSÃO ATMOSFÉR. mm Hg	MAX. MEDIA													(1)
	MEDIA	758	758	758	758	760	760	755	761	761	760	759	758	
	MIN. MEDIA													
VENTO m/s	VEL. MAXIMA													(1)
	DIRECAO													
	VEL. MEDIA	2.5	2.8	2.3	2.4	4.3	2.6	2.8	3.3	3.3	3.2	3.4	3.2	(2)
	DIRECAO	SE/L	SE/L	SE/L	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/L	SE/L	SE/L	
INSOLAÇÃO HORAS REGISTRADAS	7.6	7.3	6.8	6.6	5.8	6.2	6.2	6.3	7.2	8.0	8.9	8.2	(1)	
RADIAÇÃO SOLAR W/m ² dia	5472	5378	5085	4350	4029	3787	3855	4711	5154	5400	5680	5438	(3)	
CHUVA TOTAL mm	134.9	211.3	226.2	213.2	302.6	341.4	281.5	183.3	107.5	74.7	41.1	65.0		

Comentários:

(1) As linhas não preenchidas correspondem a dados não disponíveis no IBGE.

(2) Fonte: Ministério da Agricultura. Período 1961 a 1990.

(3) IPT/ Dados tratados a partir de Funari, F.(33). Período 1968 a 1974.

Figura 7: Valores médios das variáveis climáticas para a cidade de Recife.

D. Caracterização das Condições Climáticas Típicas de Projeto

Conhecidos os valores médios mensais das variáveis climáticas (ver Figura 7), deve ser identificada a variação diária, mes a mes, daquelas que irão definir a Carta Bioclimática e que irão subsidiar a avaliação do desempenho térmico e luminoso do projeto básico. A seguir estão indicados os Procedimentos para determinação da variação horária da :

- a. temperatura
- b. pressão de vapor (umidade relativa como base de cálculo)
- c. radiação solar/insolação
- d. iluminância
- e. ventos

D.1 Temperatura

D.1.1 Identificação dos Meses de Verão e de Inverno

São considerados de **verão** os meses cuja **média das temperaturas máximas** apresentem valores iguais ou superiores à temperatura limite (dia) estabelecida no Quadro da Figura 8⁸, abaixo:

Recife						
TMA* = (30.2 + 20.7) / 2 = 25.4°C						
UR(%)	* TMA > 20°C		15°C < TMA < 20°C		TMA < 15°C	
	dia	noite	dia	noite	dia	noite
< 70%	23/29	17/23	21/28	14/21	19/26	12/19
> 70%	22/27	17/22	20/25	14/20	18/24	12/18

intervalos de conforto diurno e noturno, em função da umidade relativa média mensal e temperatura média anual

* média aritmética entre o maior valor da temperatura média das máximas do ano e o menor valor da temperatura média das mínimas do ano.

Figura 8: Limites de temperatura para classificação da solicitação térmica da região, propostos por C.

⁸ A classificação da solicitação térmica descrita na Figura 8 foi proposta por C. Mahoney em publicação da " United Nations Centre for Housing, Building and Planning (citada por Koenigsberger(1973)(6)). Essa classificação adota valores-limite de conforto para o dia e a noite em função do conjunto temperatura / umidade relativa da região. É um dos poucos índices que levam em consideração as características climáticas regionais ao indicar limites aceitáveis de temperatura para o conforto.

Mahoney (6).

De forma análoga, são considerados de **inverno**, os meses cuja **média das temperaturas mínimas** apresentem valores iguais ou inferiores à temperatura limite de conforto (noite) estabelecida no Quadro da Figura 8.

Segundo o critério exposto acima, o limite de temperatura para classificação dos **meses de verão** seria de 27°C (dia), pois a TMA para Recife é superior a 20°C e a umidade relativa é superior a 70%, todos os meses do ano (ver Figura 7).

O limite de temperatura para classificação dos **meses de inverno** seria de 17°C (noite).

Considerando os dados de temperatura média das máximas e média das mínimas para a cidade em questão, mes a mes, as **solicitações térmicas** típicas seriam:



Recife												
solicitação térmica												
	Q= quente				C= confortável				F= frio			
mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
	Q	Q	Q	Q	Q	C	C	C	C	C	C	Q

Figura 9: Classificação dos tipos de solicitações térmicas que ocorrem em Recife.

Nota: Observar que para a cidade de Recife seis dos doze meses do ano podem ser classificadas como QUENTE (dia) e QUENTE(noite) e seis meses como QUENTE(dia) e CONFORTAVEL (noite).

Adotado o critério exposto acima, Recife **não** apresenta períodos de inverno e todos os meses deverão ser tratados como **meses de verão**. Esta **classificação é importante** para definir "como" devem ser determinadas as temperaturas máximas e mínimas diárias a serem adotadas nos **cálculos para avaliação da desempenho da edificação**, na estimativa do consumo de energia elétrica e na elaboração do diagnóstico climático. O critério para determinar as temperaturas de cálculo está indicado no Procedimento seguinte (D.1.2)

D.1.2 Determinação da Temperatura Máxima e Mínima Mensal

Para os meses de verão, o valor da temperatura máxima do mes (T_{max}) é a média aritmética entre a média da temperatura máxima absoluta (T_x) e temperatura média das máximas (T_{xmed}) (ver Figura 10). A temperatura mínima (T_{min}) para os meses de verão, é então determinada, subtraindo-se do valor da temperatura máxima (T_{max}), a oscilação típica do mes (Δ). Observar, a título de exemplo, o Quadro da Figura 10.

Recife					Δ	T_{max}	T_{min}
mes	T_x	T_{xmed}	T_i	T_{imed}	$T_{xmed} - T_{imed}$	$(T_x + T_{med})/2$	$(T_{max} - \Delta)$
jan	31.4	30.2	20.1	22.8	7.4	30.8	23.4
fev	31.2	29.9	20.6	23	6.9	30.6	23.7
mar	31.3	30	20.8	22.9	7.1	30.7	23.6
abr	31.4	29.6	20.7	22.6	7	30.5	23.5
mai	29.9	28.8	19.9	22.2	6.6	29.4	22.8
jun	29.3	28.2	19.1	21.4	6.8	28.8	22
jul	28.8	27.4	18.2	20.7	6.7	28.1	21.4
ago	29.7	27.7	18.3	20.7	7	28.7	21.7
set	29.5	28.3	18.3	21	7.3	28.9	21.6
out	30.8	29	19	21.6	7.4	29.9	22.5
nov	30.8	29.6	19.6	22	7.6	30.2	22.6
dez	31.4	30.1	20	22.6	7.5	30.8	23.3

T_x =média das temperaturas máximas absolutas

T_{xmed} =média das temperaturas máximas

T_i =média das temperaturas mínimas absolutas

T_{imed} =média das temperaturas mínimas

T_{max} = média das máximas a ser adotada

T_{min} = média das mínimas a ser adotada

Fonte: IBGE

Figura 10: Procedimento para determinação das temperaturas máxima e mínima típica de cada mes, em Recife.

Os valores de T_{max} e T_{min} serão os valores de cálculo adotados para a cidade de Recife, em qualquer etapa deste trabalho.

1.1.3 Determinação da Variação Horária da Temperatura

A determinação do valor horário da temperatura (T_h) pode ser feito através da seguinte Equação:

$$T_h = T_{max} - (T_{max} - T_{min}) * j \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 2})$$

sendo,

T_{max} = Temperatura máxima do mes (ver Figura 10)

T_{min} = Temperatura mínima do mes (ver Figura 10)

j^9 = valor de ajuste da curva horária de temperatura, que deve assumir, hora a hora, os seguintes valores:

$j = 0.75, 0.78, 0.82, 0.87, 0.89, 0.96, 1.00, 0.93, 0.76, 0.57, 0.41, 0.28, 0.15, 0.11, 0.02, 0.00, 0.04, 0.08, 0.15, 0.46, 0.56, 0.64, 0.73, 0.70, \dots$ tomando-se o primeiro valor (0.75) para às zero horas e assim sucessivamente.

Observar na Figura 11 um exemplo de aplicação da Equação 2 para o mes de maio, em Recife.

⁹ Valores de "j" sugeridos pelo IPT (17). Alguns autores preferem ajustar os valores de "j" em função das temperaturas horárias (máximas e mínimas) registradas em cada região. Para efeito deste trabalho, o valor proposto pelo IPT foi considerado satisfatório.

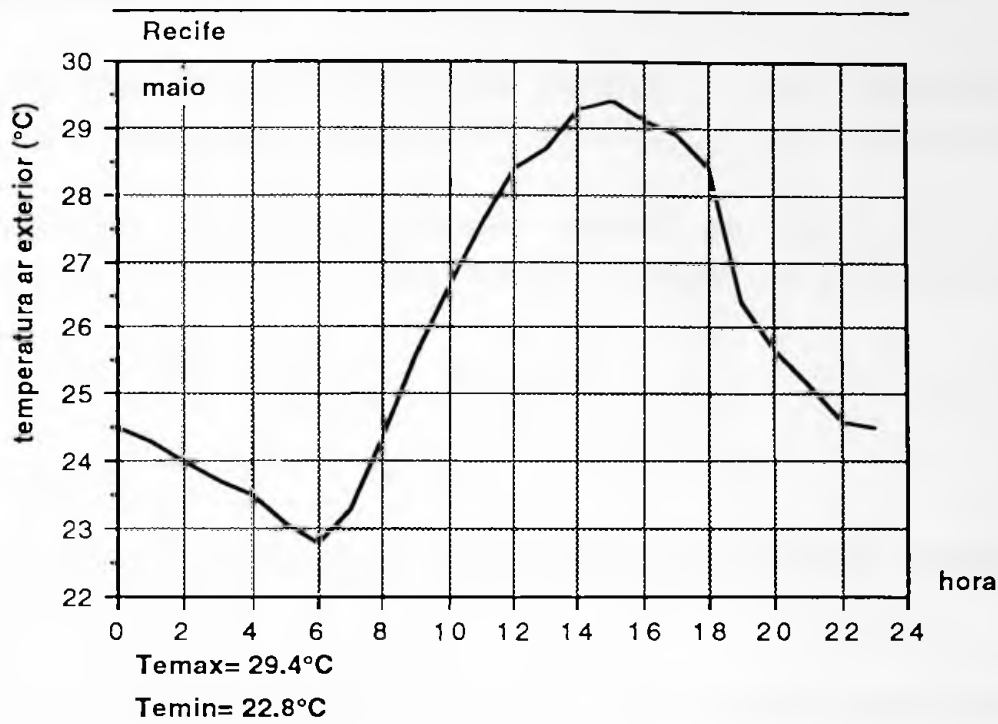


Figura 11: Variação horária da temperatura do ar ,em maio, em Recife.

D.2 Pressão de Vapor

D.2.1 Determinação da Pressão Parcial de Vapor

Para determinação dos valores da **pressão parcial de vapor** (que serão necessários para elaboração da **Carta Bioclimática**), é possível partir dos dados de **umidade relativa média para cada mes**, através da aplicação do seguinte procedimento :

- identificar o valor médio da **pressão atmosférica** (P_{atm}) para cada um dos meses do ano(consultar Figura 7);
- identificar o valor médio da **umidade relativa** (UR) para cada um dos meses e que corresponde à temperatura média do mes(consultar Figura 7);
- determinar, para cada mes, o valor da **pressão de saturação** (P_{sat}) correspondente à temperatura média do mes¹⁰(T_{med}), através das

seguintes Equações¹¹:

$$P_{sat} = 830,7 \cdot \exp(T_{med} \cdot 0.0553) \cdot 0.0075 \quad (\text{mmHg}), \quad \text{se } T_{med} > 25^\circ\text{C} \quad (\text{Eq } 3)$$

$$P_{sat} = 663.5 \cdot \exp(T_{med} \cdot 0.0640) \cdot 0.0075 \quad (\text{mmHg}), \quad \text{se } T_{med} \leq 25^\circ\text{C} \quad (\text{Eq } 4)$$

d. determinar o valor da **pressão parcial de vapor (Pv)** correspondente à temperatura média (tmed compensada) através da seguinte Equação:

$$P_{vref} = UR \cdot P_{sat} \quad (\text{mmHg}) \quad (\text{Eq } 5)$$

onde,

UR= umidade relativa média do mes

Nota 1: Na Figura 12, Pv está assinalada como **Pv ref**(Pressão parcial de referência, ou seja referente à temperatura média do mes)

Nota 2: A formulação apresentada acima para determinação da pressão de vapor, pressupõe que a massa d'água existente no ar permanece constante, hipótese que não é válida quando ocorrem precipitações ou trocas intensas de massas de ar com teores de umidade muito diferenciados (17). Esta hipótese não precisará ser adotada sempre que o projetista disponha de registros horários de umidade relativa do ar. Esta situação é, com certeza a mais desejável.

A título de exemplo, observar no Quadro da Figura 12, os valores da **pressão parcial de vapor** correspondente à temperatura média de cada mes, para a cidade de Recife:

¹⁰ Temperatura média compensada.

¹¹ O algoritmo proposto para determinação da pressão de saturação é sugerido pelo IPT(17), e é válido para pressões atmosféricas compreendidas entre 712mmHg e 787mmHg.

Recife		Período:1980 a 1984		
mes	Tmed comp	UR(%)	Psat(mmHg)	Pvref(mmHg)
jan	26.7	75.3	27.3	20.6
fev	26.6	78.4	27.1	21.2
mar	26.5	80.6	27	21.8
abr	26	83.0	26.2	21.7
mai	25.3	84.5	25.2	21.3
jun	24.6	85.0	24	20.4
jul	23.8	83.5	22.8	19
ago	24.1	81.8	23.3	19.1
set	24.8	79.0	23.3	18.4
out	25.5	76.0	25.5	19.4
nov	26.1	74.3	26.4	19.6
dez	26.3	74.6	26.7	19.9

Fonte:IBGE

Figura 12: Valores da pressão parcial de vapor(Pv ref) correspondente à temperatura média do mes, para a cidade de Recife.

A pressão de vapor correspondente à temperatura média do mes (Pvref), considerando a hipótese que a massa d'água é constante no ar, corresponde à pressão de vapor horária. Esses valores, combinados com os dados horários de temperatura permitem a construção da Carta Bioclimática, descrita no Procedimento PDC2 do item 3.2.2

3.3 Radiação Solar/Insolação

3.3.1 Determinação da Radiação Solar Horária e Média Mensal

Os dados de radiação solar, fundamentais na avaliação do desempenho térmico e luminoso das edificações, são em geral dados não disponíveis.

São raros os postos meteorológicos¹² que fazem registros dessa variável e portanto sua determinação deve ser feita a partir dos registros de insolação.

Para determinação dos valores médios mensais da radiação solar¹³ incidente

¹² Alguns postos meteorológicos da rede do Ministério da Agricultura fornecem, para alguns anos, registros de radiação solar em plano horizontal.

¹³ A formulação para cálculo da radiação solar em planos verticais a partir dos dados de insolação

em planos verticais (8 orientações) e em plano horizontal, deve-se inicialmente determinar o valor da radiação solar global em plano horizontal, a partir dos dados de insolação (total diário de horas de sol), utilizando-se a formulação sugerida por Angstrom(12) (Equação 6):

$$Q_g = Q_o * [a + b * (n/N)] \quad (\text{W/m}^2 \text{ dia}) \quad (\text{Eq 6})$$

sendo,

Q_g = radiação solar global ao nível do solo incidindo em plano horizontal com área unitária, em 1(hum) dia;

Q_o = radiação solar global no topo da atmosfera incidindo em plano horizontal com área unitária, em 1(hum) dia, em (W/m² dia) ;

$$Q_o = (2 * N' * I_o * \cos(\vartheta - \sigma)) / \pi \quad (\text{W/m}^2 \text{ dia}) \quad (\text{Eq 7})$$

sendo

$$N = N' + 0.1 \quad (\text{hora}) \quad (\text{Eq 8})$$

$$N' = 0.13333 * \arccos(-(\text{tg}\vartheta * \text{tg}\sigma)) \quad (\text{hora}) \quad (\text{Eq 9})$$

ϑ = declinação do sol¹⁴

σ = latitude do local (°)

n = insolação real(valor registrado) em 1(hum) dia;

I_o = constante solar

$$I_o = 1.353 \quad (\text{W/m}^2)$$

N = insolação máxima possível no dia considerado

a e b = constantes que dependem de características próprias do local (Ver Tabela da Figura B.1, no Anexo B);

Conhecido o valor da radiação solar global em plano horizontal(Q_g), a determinação da variação horária em plano vertical(RG^V) pode ser feita com base na formulação proposta por Liu e Jordan (17)¹⁵, descrita a seguir:

registrados, aqui apresentada, segue a orientação proposta pelo IPT(12 e 17).

¹⁴ A declinação(ϑ) do sol pode ser obtida através da seguinte equação, segundo Sattler(34):

$$\vartheta = 0.006918 - 0.399912 * \cos\beta + 0.070257 * \text{sen}\beta - 0.006758 * \cos 2\beta$$

$$+ 0.000907 * \text{sen} 2\beta - 0.002697 * \cos 3\beta + 0.00148 * \text{sen} 3\beta, \quad \text{sendo}$$

$$\beta = (2 * \pi * \text{data}) / 365, \quad \text{onde "data" representa o número de dias decorridos}$$

a partir de 1º de janeiro.

¹⁵ O método proposto por Liu e Jordan e adotado pelo IPT(17) foi publicado na "NBS Building Science Series nº 96. A formulação apresentada neste trabalho é uma adaptação da autora.

$$RG^V = RD^V + RDF^V + RFF^V \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 10)$$

sendo,

RG^V = média horária da radiação solar global em plano vertical

RD^V = média horária da radiação solar direta em plano vertical calculada através da Equação 11:

$$RD^V = (RD^h \cdot \cos \Omega_v) / \cos \Omega_h \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 11)$$

onde,

RD^h = média horária da radiação solar direta em plano horizontal,

calculada por:

$$RD^h = RN \cdot \cos \Omega_h \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 12)$$

sendo,

RN = média horária da radiação solar direta em plano normal à incidência dos raios, calculada por:

$$RN = A \cdot \exp(-B / \cos \Omega_h) \quad (Eq \ 13), \text{ onde}$$

Ω_h = ângulo de incidência determinada pela direção do raio solar direto e a superfície horizontal, calculado por:

$$\cos \Omega_h = \cos \sigma \cdot \cos \delta \cdot \cos W + \sin \sigma \cdot \sin \delta \quad (^\circ) \quad (Eq \ 14),$$

sendo,

W = ângulo horário, correspondente à hora do dia (tempo solar), em radianos, calculado pela Equação 15.

$$W = 15t \quad (Eq \ 15), \text{ onde "t" é definido por:}$$

$$t = 12 - TV \quad (Eq \ 16)$$

sendo,

"TV" = tempo verdadeiro, calculado por:

$$TV = TL + ET - ((Lg - 15 \cdot FU) / 15) \quad (Eq \ 17), \text{ sendo "TL" o tempo local (negativo para as horas anteriores ao meio-dia), e "ET" a "equação de tempo" descrita abaixo, "Lg" a longitude do local (negativa para locais à oeste de Greenwich) e "FU" o fuso horário (negativo para locais à oeste de Greenwich) correspondente à região em estudo, sendo positivo para cidades à oeste de Greenwich.}$$

Para a equação de tempo "ET", adotar:

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET	-0.18	-0.22	-0.12	0.003	0.06	-0.026	-0.10	-0.07	0.12	0.25	0.23	0.023

Figura 13: Valores mensais da Equação de Tempo

W_s = ângulo referente à hora do nascer do sol, calculado por:

$$\cos W_s = -\tan \phi \cdot \tan \delta \quad (\text{Eq 18})$$

$$A = (K_t - K_d) \cdot \pi \cdot Q_0 / (24 \cdot G) \quad (\text{Eq 19})$$

B o valor extraído da tabela da Figura 14

$$G = \int_0^{W_s} [\exp(-B/\cos \Omega_h)] \cdot \cos \Omega_h \cdot dW \quad (\text{Eq 20})$$

Mes	B
jan	0.207
fev	0.201
mar	0.177
abr	0.160
mai	0.149
jun	0.142
jul	0.142
ago	0.144
set	0.156
out	0.180
nov	0.196
dez	0.205

Fonte: IPT(17)

Figura 14: Valores mensais do coeficiente de extinção atmosférica "B" para o hemisfério sul

RDF^h = média horária da radiação solar difusa em plano horizontal,

determinada por:

$$RDF^h = R_d \cdot D \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Eq 21})$$

sendo,

$$R_d = (\pi/24) \cdot [(\cos W - \cos W_s) / (\sin W_s - W_s \cdot \cos W_s)] \quad (\text{Eq 22})$$

D = média mensal da radiação solar difusa diária incidente em superfícies horizontais, calculado por:

$$D = K_d \cdot Q_0 \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Eq 23})$$

sendo,

K_d função de K_t , extraído da tabela abaixo:

Kt	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75
Kd	0.179	0.183	0.188	0.174	0.149	0.125

Fonte : IPT(17)

Figura 15: Valores do parâmetro Kd em função de Kt.

sendo Kt determinado por:

$$Kt = Qg/Qo \quad (\text{Eq 24})$$

Qg e Qo definidos acima (Ver Equação 6)

Ω_v = ângulo de incidência determinada pela direção do raio solar direto e a superfície vertical), calculado por:

$$\cos \Omega_v = \cos \hat{\alpha} \cdot \cos \hat{u} \quad (\text{Eq 25})$$

sendo,

$\hat{\alpha}$ o ângulo de altura solar¹⁶ (ângulo compreendido entre a direção do raio solar e a superfície horizontal) e \hat{u} a diferença entre o

ângulo de azimute solar¹⁷ (AZM) e o ângulo de azimute da fachada¹⁸ analisada;

Ω_h = ângulo de incidência determinada pela direção do raio solar direto e a superfície horizontal, calculado pela Equação 14, já mencionada:

$$\cos \Omega_h = \cos \vartheta \cdot \cos \delta \cdot \cos W + \sin \vartheta \cdot \sin \delta \quad (\text{Eq 14})$$

sendo,

W o ângulo horário correspondente à hora do dia (tempo solar), em radianos, calculado pela Equação 15.

¹⁶ O ângulo de altura solar ($\hat{\alpha}$), assim como o azimute solar (AZM), pode ser determinado a partir do diagrama solar para a latitude em estudo ou, segundo Sattler, M.A. (34), através da equação:

$\hat{\alpha} = \arcsen(\sin \vartheta \cdot \sin \delta + \cos \vartheta \cdot \cos \delta \cdot \cos 15t)$, sendo "t" a hora local, negativa para os horários anteriores ao meio dia. A determinação de "t" pode ser feita através de:

$t = 12 - TV$, sendo "TV" o tempo verdadeiro, calculado por:

$TV = TL + ET - ((Lg - 15 \cdot FU) / 15)$, sendo "TL" o tempo local (indicado pelo relógio), sendo negativo nos horários antes do meio dia, Lg a longitude (negativa para locais à oeste de Greenwich), FU o fuso horário correspondente ao local (negativo para locais à oeste de Greenwich) e "ET" a "equação de tempo" descrita no texto.

¹⁷ O ângulo de azimute solar (AZM) pode ser calculado por:

$AZM = \arccos(\sin \delta \cdot \cos \vartheta - \cos \delta \cdot \sin \vartheta \cdot \cos 15t)$, sendo "t" a hora local, negativa para os horários anteriores ao meio dia e calculado segundo a Equação 16, do texto. Para os horários após o meio-dia: $AZM = 360^\circ - AZM$

¹⁸ O ângulo de azimute da fachada deve ser considerado a partir do Norte, no sentido horário, da mesma forma que o azimute do sol.

Conhecida a RDF^h , a RDF^v (média horária da radiação solar difusa em plano vertical) será calculada através da Equação 26:

$$RDF^v = RDF^h / 2 \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 26)$$

A média horária da radiação global em plano horizontal (RG^h), será:

$$RG^h = RD^h + RDF^h \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 27)$$

Este valor de RG^h permite determinar a parcela da radiação solar refletida (RFF^v), utilizando-se a Equação 28

$$RFF^v = refl \cdot RG^h / 2 \quad (W/m^2) \quad (Eq \ 28)$$

sendo "refl" o índice de refletância do solo .

Nota: Para os valores de "refl" em áreas urbanizadas, Souster, Rodger e Page (34) sugerem valores compreendidos entre 10 a 15%. Para áreas cobertas por vegetação, em climas temperados, os mesmos autores sugerem valores da ordem de 20 a 25% . A referência bibliográfica nº 33 dá indicações do índice de refletância a ser adotado em várias cidades brasileiras.

A título de exemplo, o gráfico da Figura 17 apresenta os valores horários de radiação solar para a cidade de Recife, no mês de janeiro, nas orientações Norte, Sul, Este, Oeste e em Plano Horizontal.

Os dados utilizados nos cálculos da radiação solar encontram-se nas tabelas das Figuras 16

Recife	mes 1
fuso=	- 2
lo(ct solar)	1353
a=	0.35
b=	0.23
ET=	-0.18
∂ =	-19.51
n=	7.6

\hat{a} = ângulo de altura solar

\hat{u} = ângulo de azimute solar

Recife	latitude= 8°8'	longitude= 34°53'				
mes 1						
hora*	TV	t=12-TV	sen \hat{a}	\hat{a}	cos \hat{u}	Q
- 5	-4.853	16.9	-0.22	- 13	-0.3782	112
- 6	-5.853	17.9	0.02	1	-0.3342	110
- 7	-6.853	18.9	0.26	15	-0.3101	108
- 8	-7.853	19.9	0.49	29	-0.3053	108
- 9	-8.853	20.9	0.69	44	-0.3321	109
- 10	-9.853	21.9	0.84	57	-0.3983	113
- 11	-10.853	22.9	0.94	70	-0.5926	126
12	12.147	-0.1	0.98	79	-1.0328	180
13	13.147	-1.1	0.94	70	-0.5925	234
14	14.147	-2.1	0.84	57	-0.3982	247
15	15.147	-3.1	0.69	44	-0.3319	251
16	16.147	-4.1	0.49	29	-0.3052	252
17	17.147	-5.1	0.27	16	-0.3115	252
18	18.147	-6.1	0.02	1	-0.3341	250
19	19.147	-7.1	-0.22	- 13	-0.3781	248
ET=	-0.18					
∂ =	-19.51					
fuso horário=-2						

* Horários antes do meio dia devem ser negativos

Figura 16: Dados adotados no cálculo de radiação solar incidente em plano horizontal e vertical para a cidade de Recife, no mês de janeiro.

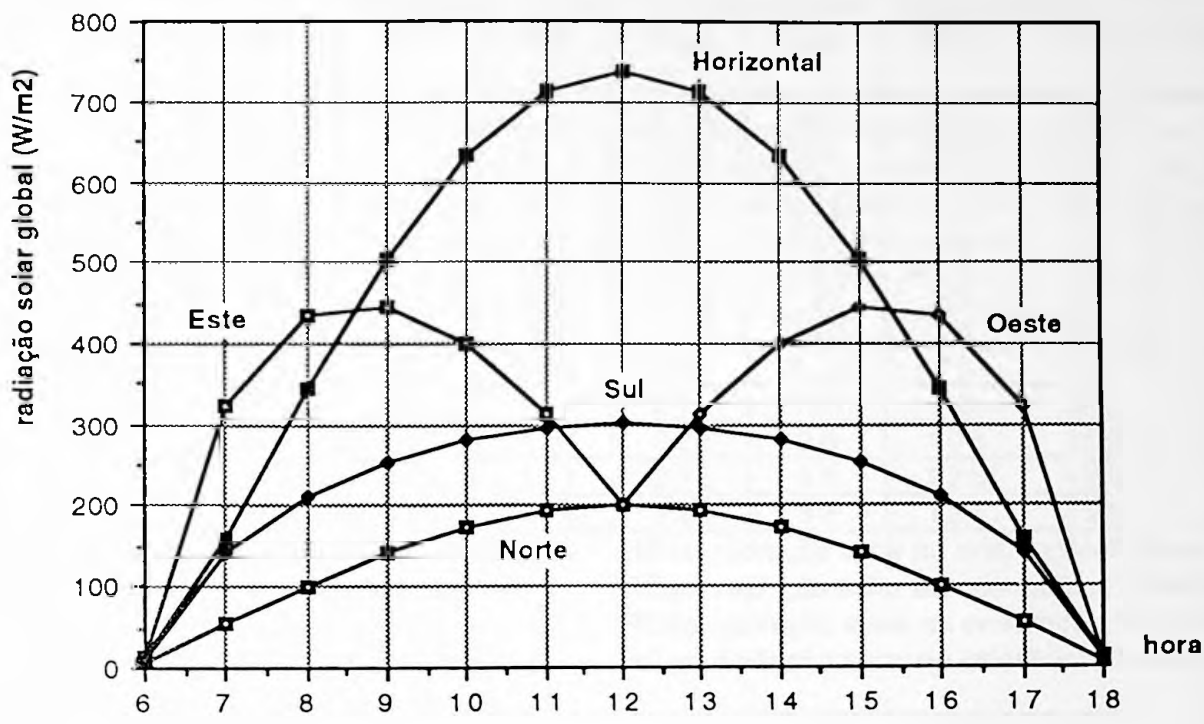


Figura 17 : Variação da radiação solar global horária em plano vertical e horizontal, em janeiro, para Recife

O valor da radiação média mensal pode ser obtida a partir da somatória dos valores horários, dividida por 24 horas.

Para a cidade de Recife, os valores médios mensais são aqueles indicados na tabela da Figura 18

Recife	Radiação solar global/média diária(W/m ²)								
	mes	RGn	RGs	RGe	RGo	RGh	RGne	RGse	RGso
jan	64	112	117	117	228	86	120	120	86
fev	64	80	116	116	224	96	107	107	96
mar	81	61	112	112	212	105	91	91	105
abr	103	55	98	98	181	105	71	71	105
mai	120	50	92	92	168	110	60	60	110
jun	122	48	86	86	158	108	55	55	108
jul	115	49	88	88	160	105	58	58	105
ago	112	56	106	106	196	115	75	75	115
set	82	61	114	114	215	107	92	92	107
out	64	80	117	117	225	96	108	108	96
nov	64	116	121	121	236	88	125	125	88
dez	64	124	116	116	226	82	125	125	82

RGn: radiação solar na orientação Norte
 RGs: radiação solar na orientação Sul
 RGe: radiação solar na orientação Este
 RGo: radiação solar na orientação Oeste
 RGh: radiação solar em plano horizontal
 RGse: radiação solar na orientação Sudeste
 RGso: radiação solar na orientação Sudoeste
 RGne: radiação solar na orientação Nordeste
 RGno: radiação solar na orientação Noroeste

Fonte: IPT

Figura 18: Valores da radiação solar global (média horária em 24h) para os 12 meses, em plano vertical e horizontal.

D.3.2 Determinação da Geometria da Edificação em Função dos Dados de Radiação Solar

Uma vez conhecidos os valores da radiação solar global (média mensal) para a cidade em estudo, é possível a determinação das relações geométricas para a edificação que minimizam o ganho de calor por radiação solar.

Para identificar a relação, em planta, "largura x comprimento" (X_n/X_e) mais adequada para a edificação, assim como a altura (H), o projetista poderá utilizar a Equação 29¹⁹. Para isso deverá considerar os valores da média mensal da radiação solar global que incide em cada uma das quatro fachadas (usar os dados do mes mais quente), extraídos da Figura 18.

¹⁹ Essa Equação foi adaptada a partir da formulação matemática proposta por Martin, L. e March, L. ((1972)(37) para otimizar a geometria das edificações.

Nota: A relação dada pela Equação 29 é uma indicação que expressa a geometria que permite minimizar o ganho de calor pela envoltória. Evidentemente, se o projetista optar por áreas envidraçadas na fachada de maior incidência de radiação solar, a geometria mais adequada poderá ser alterada. Para evitar tal situação, será conveniente, além de definir a geometria mais adequada, escolher a fachada para localizar as maiores aberturas em função do gráfico de temperatura ar-sol para o mes mais quente.

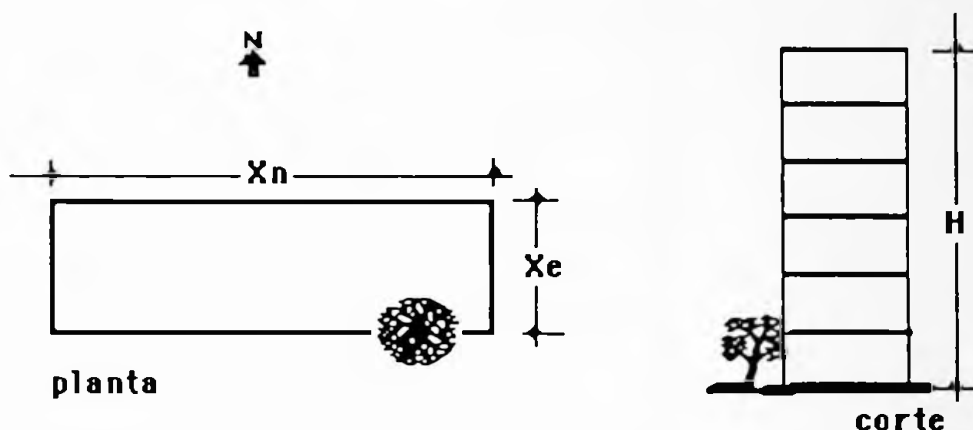


Figura 19: Indicação das variáveis (comprimento x largura) que determinam a geometria que minimiza o ganho de calor pela envoltória.

Q: Ganho de calor da envoltória

$$Q = V \cdot [(R_e + R_o) / X_n + (R_n + R_s) / X_e] + (X_n \cdot X_e \cdot R_h) \quad (\text{Eq 29})^{20}$$

sendo,

V = volume da edificação (m³)

X_n = dimensão da fachada Norte (m)

X_e = dimensão da fachada Este (m)

R_e = média mensal da radiação solar global na fachada Este (W/m²)

R_o = média mensal da radiação solar global na fachada Oeste (W/m²)

R_n = média mensal da radiação solar global na fachada Norte (W/m²)

R_s = média mensal da radiação solar global na fachada Sul (W/m²)

R_h = média mensal da radiação solar global em plano horizontal (W/m²)

A título de exemplo, para as cidades de Recife, Manaus e Rio de Janeiro, considerando os respectivos valores da radiação solar global, fixando o valor do Volume em 10000 m³ e altura de 27m (9 andares) a relação X_n/X_e para essas cidades está indicada na Figura 20

²⁰ Se a opção pela implantação for Nordeste/Sudeste, devem ser considerados os valores da radiação solar correspondentes a tais orientações.

Nota: Para construção do gráfico da Figura 20, é necessário o cálculo de um conjunto de "Q" (ver Equação 2.9), correspondentes à várias relações "Xn/Xe", para um dado valor de "H" (a relação em planta não se altera quando H assume valores distintos). Considerando que a variável "Q" é somente uma padrão de referência, é conveniente adotar para o eixo das ordenadas os valores, em porcentagem, do acréscimo em relação ao valor de "Q" mínimo encontrado.

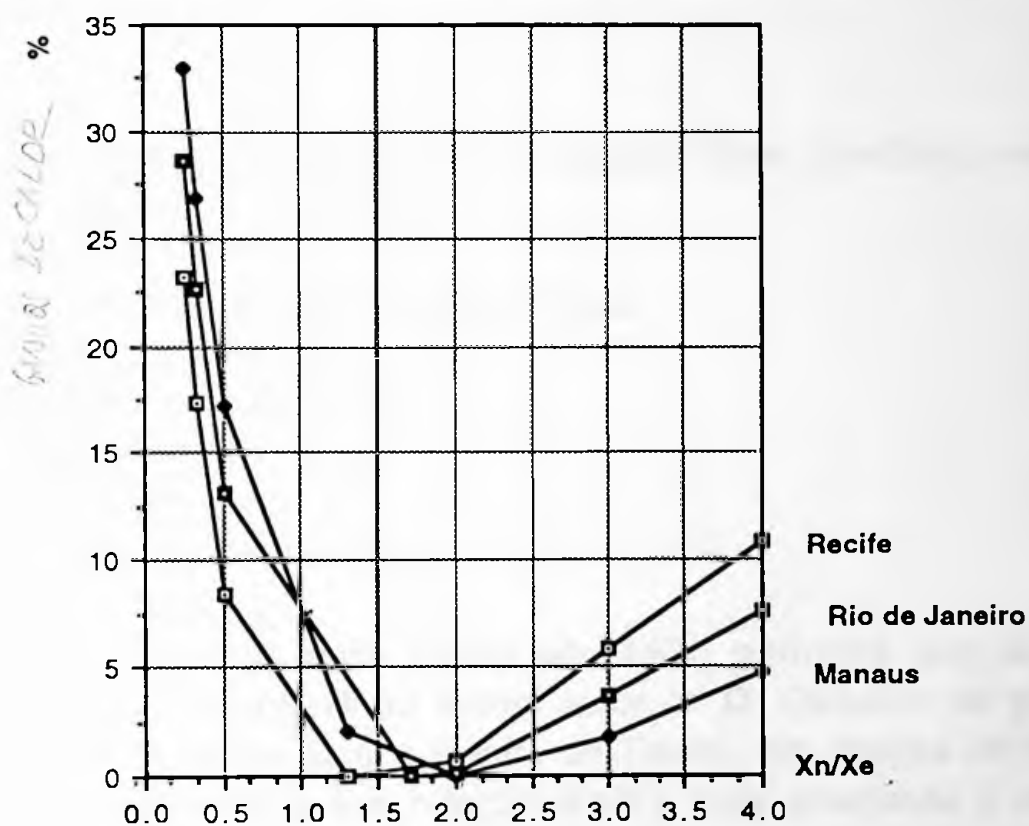


Figura 20 : Indicação da relação " Xn/Xe" que minimiza o ganho de calor recebido pela envoltória (Xn : dimensão da fachada Norte;Xe: dimensão da fachada Leste)

Observar no gráfico da Figura 20 que a relação em planta que minimiza o ganho por radiação solar é 2 para **Manaus**, isto é, a fachada Norte deve apresentar duas vezes a dimensão da fachada Este. Para **Recife**, a relação ótima é de **1.3** e para o **Rio de Janeiro** é de **1.7**. Esse mesmo gráfico²¹ indica, ainda que uma relação de **1:1** será mais adequada que **3:1**. Isto já não ocorrerá para as outras duas cidades.

²¹A construção do gráfico para o conjunto de relações possíveis permite que o projetista compare várias soluções e avalie o acréscimo de ganho devido à radiação solar que decorrerá de cada uma delas.

Nota: Observar que o eixo das ordenadas, na Figura 20, indica, em %, o acréscimo no ganho de carga pela envoltória, em relação ao ganho correspondente à "geometria ótima".

Observar no gráfico da Figura 21 que a relação X_n/X_e mais adequada não varia com a altura da edificação. No entanto existe para cada Volume (V) uma altura (H) ótima que precisa ser determinada. Para isso o projetista deverá partir do Volume da edificação e da relação X_n/X_e mais adequada (já definida) e resolver a Equação 27 para várias alturas.

Exemplo:

Se $V=10.000\text{m}^3$ e $H=9\text{ m}$ e a relação ótima (X_n/X_e) é de 2, então

$$V/H = X_n \cdot X_e = 10000/9$$

$$X_n/X_e = 2$$

O cálculo de "Q" para Manaus, onde,

$$(R_e + R_o) = 280\text{W/m}^2,$$

$$(R_n + R_s) = 139\text{W/m}^2 \text{ e}$$

$$R_h = 270\text{W/m}^2, \text{ será}$$

$$Q = 417255 \text{ W}^{22} \text{ w/m}^2$$

Este cálculo, repetido para várias alturas (H) permitirá que se determine o valor de H ótimo, que corresponderá ao menor valor de Q. Observe no gráfico da Figura 21 que os valores de H ótimo para a cidade de Recife, em função do Volume da edificação e considerando que a relação X_n/X_e mais adequada é de 1.3:

²²O valor numérico encontrado para "Q" só será significativo quando comparado com outros valores correspondentes a diferentes alturas ("H").

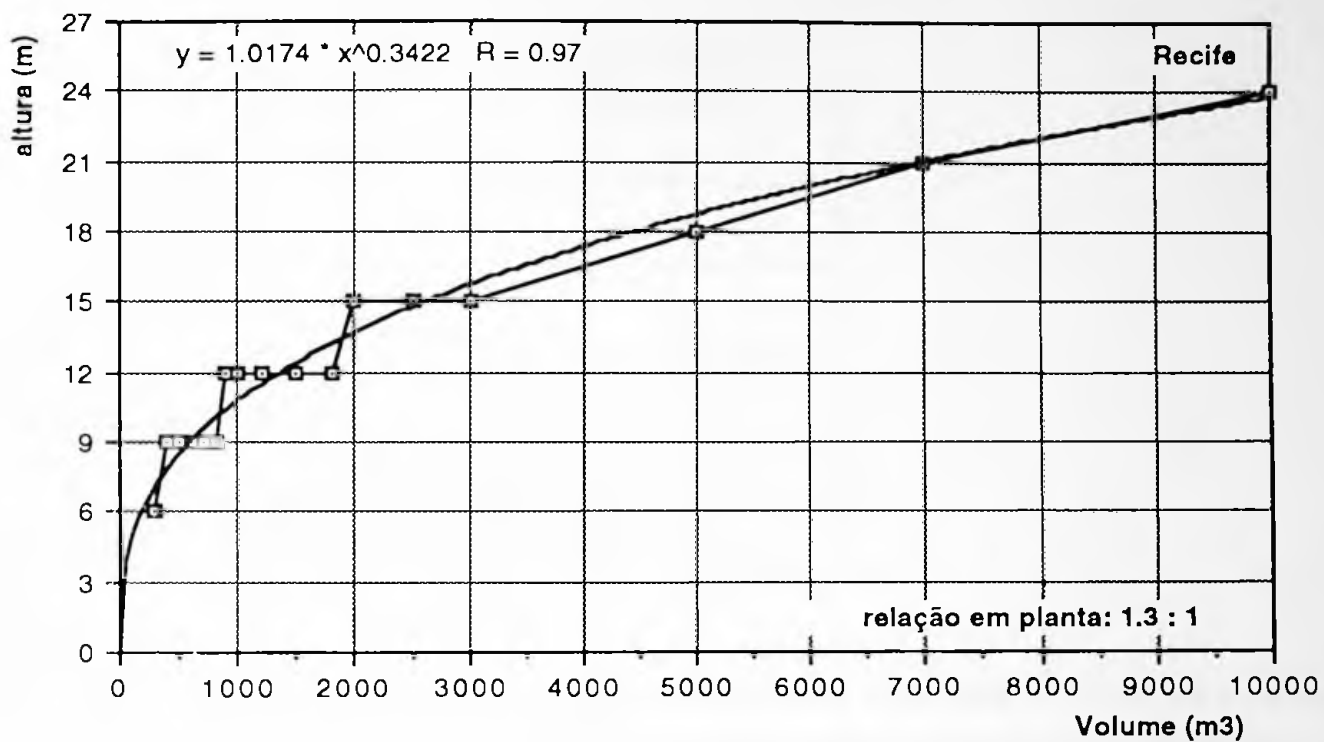


Figura 21: Curva indicativa da altura ótima de uma edificação, em função do Volume da mesma, para uma relação em planta de 1.3: 1 (relação entre a dimensão da fachada Norte e Leste, em planta)

Caso o projetista opte, por qualquer razão, por adotar outro valor que não seja a altura (H) ótima, o acréscimo no ganho de calor que ocorrerá para cada uma das alturas poderá ser observado no gráfico da Figura 22, no caso de Recife, se o volume a ser edificado for de 5.000 m³. Observar nesse gráfico que, se a altura adotada for de 2 andares (6m), isso representará um acréscimo de 30% no ganho de calor devido à radiação solar.

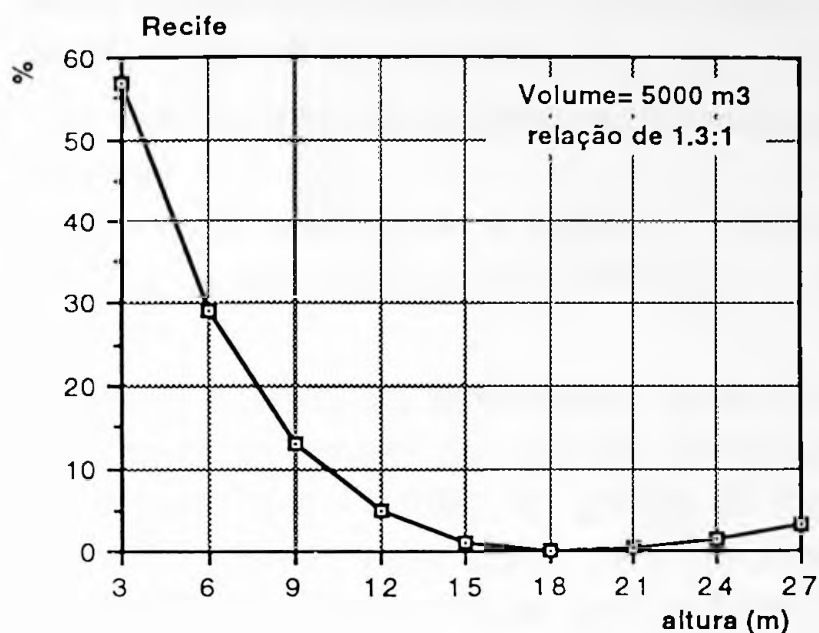


Figura 22: Curva indicativa do acréscimo no ganho de calor pela envoltória da edificação, em função da variação da altura da mesma (para um Volume constante)

D.3.3 Temperatura Ar-Sol

Conhecidos os valores da **variação horária da temperatura do ar** e da **radiação solar global horária** (em plano horizontal e vertical), mes a mes, é possível determinar a **variação horária da temperatura ar-sol (T_{as_h})** para qualquer orientação .

A variável **temperatura ar-sol**, que expressa o efeito combinado da temperatura do ar e o efeito da radiação solar, pode ser calculada através das seguintes Equações:

$$T_{as_h} = (alf \cdot R_h / h_e) + T_{e_h} \quad (^\circ C) \quad (\text{paineis verticais}) \quad (\text{Eq 30})$$

$$T_{as_h} = (alf \cdot R_h / h_e) + T_{e_h} - 4 \quad (^\circ C) \quad (\text{cobertura})^{23} \quad (\text{Eq 31})$$

²³ Para planos horizontais, o cálculo de T_{as} inclui a parcela (-4°C) que corresponde à perda de radiação para o fundo do céu, que apresenta baixas temperaturas. Alguns autores, como Gomes, R.J (15), recomendam que no período noturno, para as vedações verticais também seja considerada uma perda de (-2°C). Rivero (28), ao considerar que a radiação longa emitida pelo solo compensa a perda para o fundo de céu, sugere que a

sendo,

αf^{24} = coeficiente de absorvência à radiação solar (função da cor do revestimento) (ver quadro da Figura B.2, no Anexo B)

h_e = condutância térmica superficial da face externa ($m^2 \text{C/W}$) (Ver quadro da Figura B.3 do Anexo B)

R_h = radiação solar na hora h , (W/m^2) (Ver Figura 17)

T_{e_h} = temperatura do ar exterior na hora h ($^\circ\text{C}$) (Ver Figura 11)

Por combinar o efeito da temperatura do ar e radiação solar, esta variável pode ser utilizada para a escolha²⁵ da fachada para localização das aberturas na edificação. Observar, por exemplo, no gráfico da Figura 23, para a cidade de Recife, que a fachada Oeste é a mais crítica para localização das áreas envidraçadas. A fachada mais adequada nessa cidade seria a fachada de orientação Norte. Evidentemente esta conclusão é válida quando a escolha deve ser feita entre as orientações Norte, Sul, Este e Oeste. Para outras orientações devem ser construídos os respectivos gráficos.

parcela negativa, para as vedações verticais, não seja considerada.

²⁴ O coeficiente de absorvência (αf) de um corpo opaco representa a parcela de energia radiante que é absorvida pelo mesmo. Do total incidente, parte é absorvida e parte é refletida pelo corpo.

²⁵ Para efeito de escolha das fachadas, o gráfico da T_{as} pode ser construído para o mes mais quente.

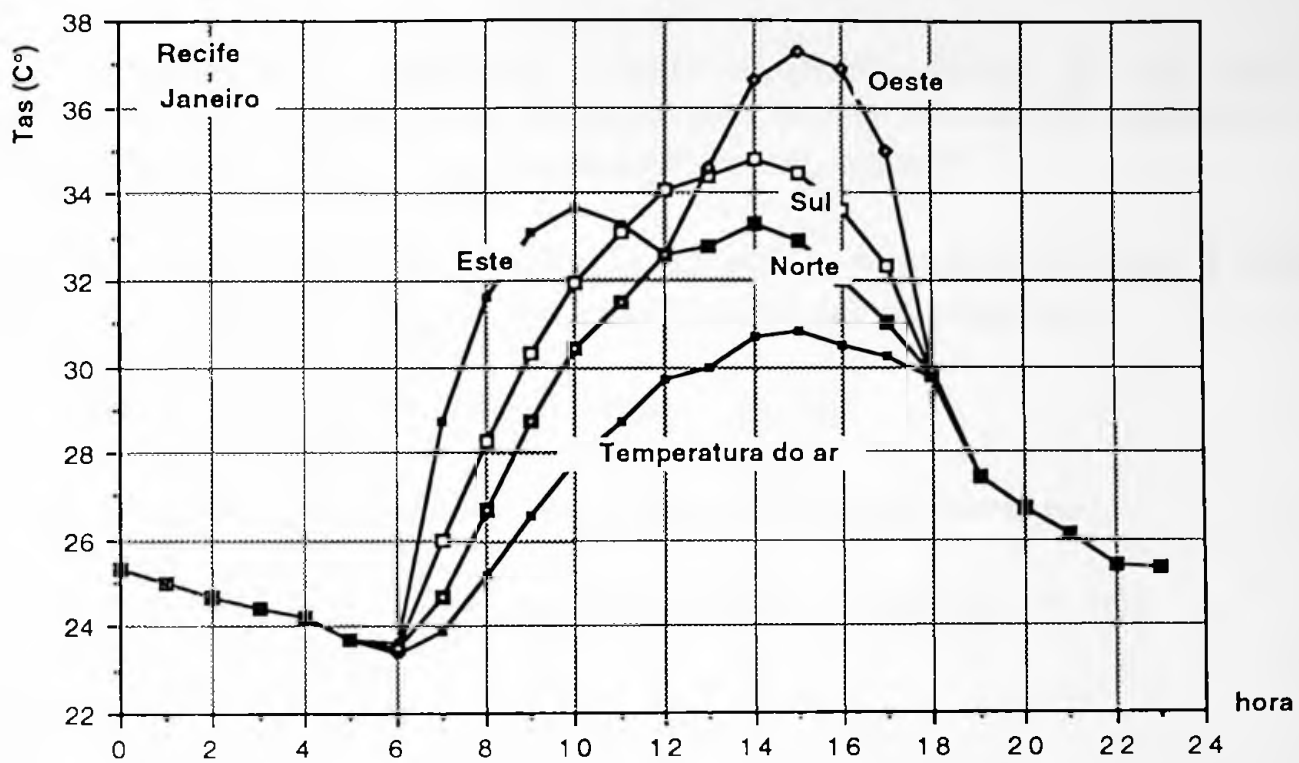


Figura 23: Variação horária da temperatura ar-sol, para o mes de janeiro, em Recife. Fator de absorção adotado: 0.5

Nota: O valor médio diário da temperatura ar-sol (Tasmed) é determinado pelo quociente entre a somatória dos valores horários de Tas em 24 horas, e o total de horas(24). Ver item 4.2.3.

ID4 Iluminância²⁶ (Abóboda Celeste)

A caracterização da abóboda celeste enquanto fonte de luz, pode ser determinada a partir do algoritmo proposto pela Norma Alemã DIN 5034(35) e que considera dois tipos de céu: céu encoberto²⁷ e céu claro.²⁸

Para **céu encoberto**, a Equação 32 fornece o procedimento para a determinação da distribuição da iluminância²⁹ em plano horizontal desobstruído:

$$E_h = 300 + 21000 \cdot \sin(\hat{\alpha}) \quad (\text{lux}) \quad (\text{Eq 32})$$

sendo

$\hat{\alpha}$ = ângulo de altura solar definido, conforme citado anteriormente, pela relação:

$$\hat{\alpha} = \arcsen(\sen\vartheta \cdot \sen\delta + \cos\vartheta \cdot \cos\delta \cdot \cos 15t) \quad (\text{ver Nota nº 17}),$$

onde,

ϑ = latitude do local,

δ = declinação solar e

t = hora local.

Para céu claro, a referida Norma³⁰ propõe o seguinte algoritmo:

$$E_h = 85000 \cdot \sen^2(\hat{\alpha}) + 6500 \cdot \sen^2(2 \cdot \hat{\alpha}) + 280 \cdot \arctg(\hat{\alpha}/18.9) \quad (\text{lux}) \quad (\text{Eq 33})$$

Esta segunda Equação considera não só o efeito do sol como do céu, já que para céu claro, a iluminância típica em plano horizontal decorre dessas duas fontes.

²⁶ Iluminância em um ponto de uma superfície: quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento da superfície que contém o ponto e a área desse elemento. (Unidade: lux)

²⁷ Céu encoberto: tipo de céu onde a abóboda celeste é totalmente encoberta. O sol não é visível (46).

²⁸ Céu claro: tipo de céu onde a abóboda celeste apresenta menos de 1/3 de sua superfície total encoberta por nuvens. (46)

²⁹ A equação proposta pela Norma Alemã fornece resultados compatíveis com os níveis de iluminância indicados para as latitudes brasileiras citados pela publicação CIE nº 16/1970 (36).

³⁰ Apesar de algumas cidades brasileiras se caracterizarem por um tipo de céu que poderia ser classificado como "claro", para efeito deste trabalho foi adotado o tipo de céu "encoberto", o que, em algumas situações subestima o nível de iluminância externo e portanto superestima a demanda de energia para a iluminação artificial. Esse critério (adoção de céu encoberto) é uma recomendação da CIE-Comission Internationale d'Éclairage (36).

Para a cidade de Recife, a determinação do ângulo de altura solar (\hat{a}) feita com base na Equação da Nota 16 e citada acima, fornece os seguintes valores:

Recife	mes													
	1 e 11		2 e 10		3 e 9		4 e 8		5 e 7		6		12	
hora*	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}	\hat{a}	\hat{u}
- 5	- 13	1 1 2	- 14	1 0 3	- 18	9 2	- 20	8 1	- 22	7 2	- 21	6 8	- 14	1 1 7
- 6	1	1 1 0	0	1 0 0	- 3	9 0	- 6	7 9	- 9	7 1	- 7	6 7	- 1	1 1 4
- 7	15	1 0 8	14	9 9	12	8 8	9	7 7	6	6 9	6	6 5	13	1 1 2
- 8	29	1 0 8	29	9 7	27	8 6	23	7 4	19	6 5	19	6 2	27	1 1 2
- 9	44	1 0 9	44	9 6	41	8 3	37	6 9	33	6 0	32	5 6	41	1 1 4
- 10	57	1 1 3	59	9 6	56	7 7	50	6 1	44	5 1	44	4 6	53	1 1 8
- 11	70	1 2 6	74	9 9	70	6 6	63	4 4	55	3 6	53	3 2	66	1 3 1
12	79	1 8 0	90	1 8 0	82	1 8 0	70	1 8 0	62	1 8 0	58	1 8 0	74	1 8 0
13	70	2 3 4	74	2 6 1	70	2 9 4	63	3 1 6	55	3 2 4	53	3 2 8	66	2 2 9
14	57	2 4 7	59	2 6 4	56	2 8 3	50	2 9 9	44	3 0 9	44	3 1 4	54	2 4 1
15	44	2 5 1	44	2 6 4	41	2 7 7	37	2 9 1	33	3 0 0	33	3 0 4	41	2 4 6
16	29	2 5 2	29	2 6 3	27	2 7 4	23	2 8 6	19	2 9 5	20	2 9 8	27	2 4 8
17	16	2 5 2	14	2 6 1	12	2 7 2	9	2 8 3	6	2 9 1	6	2 9 5	13	2 4 8
18	1	2 5 0	0	2 6 0	- 3	2 7 0	- 6	2 8 1	- 9	2 8 9	- 7	2 9 3	- 1	2 4 6
19	- 13	2 4 8	- 14	2 5 7	- 18	2 6 8	- 20	2 7 9	- 22	2 8 8	- 21	2 9 2	- 14	2 4 3

* horário antes do meio-dia deve entrar com valor negativo nos cálculos

\hat{a} = ângulo de altura solar

\hat{u} = ângulo de azimute solar

Figura 24: Valores horários do ângulo de altura solar e azimute para a cidade de Recife.

A título de exemplo, o gráfico da Figura 25 mostra a variação da iluminância em plano horizontal desobstruído para a cidade de Recife, considerada a hipótese de céu encoberto e os valores de " \hat{a} " indicados na Figura 24.

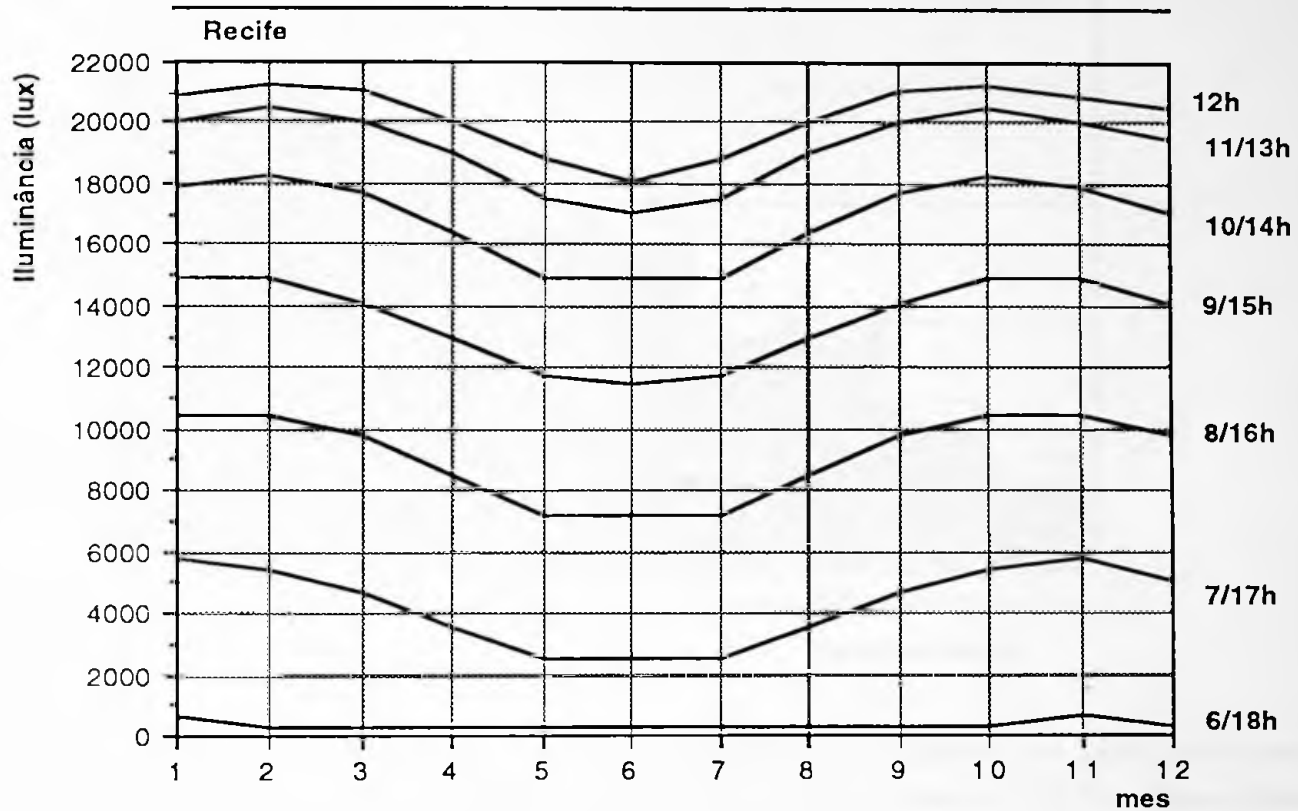


Figura 25 : Distribuição da iluminância típica para o céu de Recife, com base nos dados de insolação, determinada a partir do algoritmo proposto pela Norma Alemã DIN

Com base no gráfico da Figura 25 é possível verificar que os níveis de iluminância para o caso de Recife ocorrem segundo a seguinte distribuição:

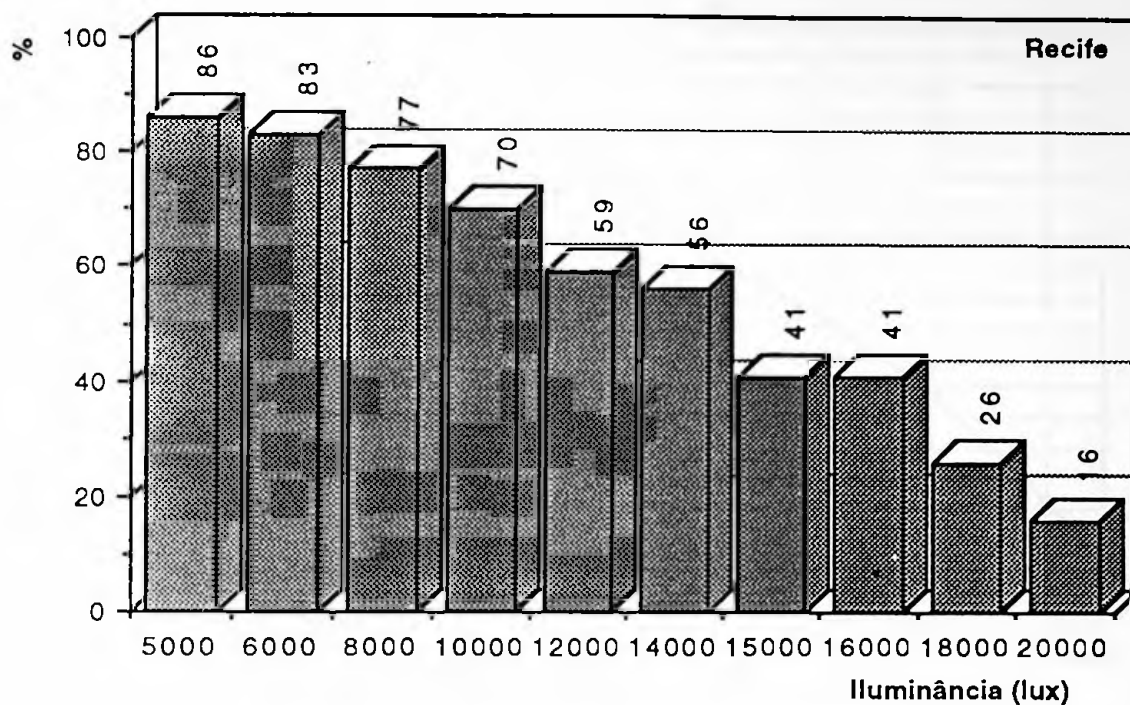


Figura 26: Frequência de ocorrência de vários níveis de iluminância em plano horizontal, em Recife. A indicação da % no eixo das ordenadas indica o nº de horas que a iluminância é igual ou superior ao nível indicado no eixo das abcissas.

No gráfico anterior observar, por exemplo, que durante **70% das horas do ano** (período das 6h às 18horas) o nível de iluminância é **igual ou superior a 10000 lux**. Este é um dado fundamental para a avaliação do desempenho luminoso natural da edificação. O procedimento para tal avaliação está descrito no item 7 deste trabalho.

Tomando por base os dados encontrados na Figura anterior, é possível determinar a curva³¹ que descreve a frequência de ocorrência dos vários níveis de iluminância. Essa curva, para a cidade de Recife está representada no gráfico da Figura que segue. Observar que a frequência de ocorrência é indicada como "eficiência" no referido gráfico.

³¹ A equação que descreve a curva do gráfico da Figura 27 é:

$$y = 2.429 \cdot 10^4 - 332.7784 \cdot x + 4.511 \cdot x^2 - 0.038 \cdot x^3 . \text{ O fator de correlação é } 1.00.$$

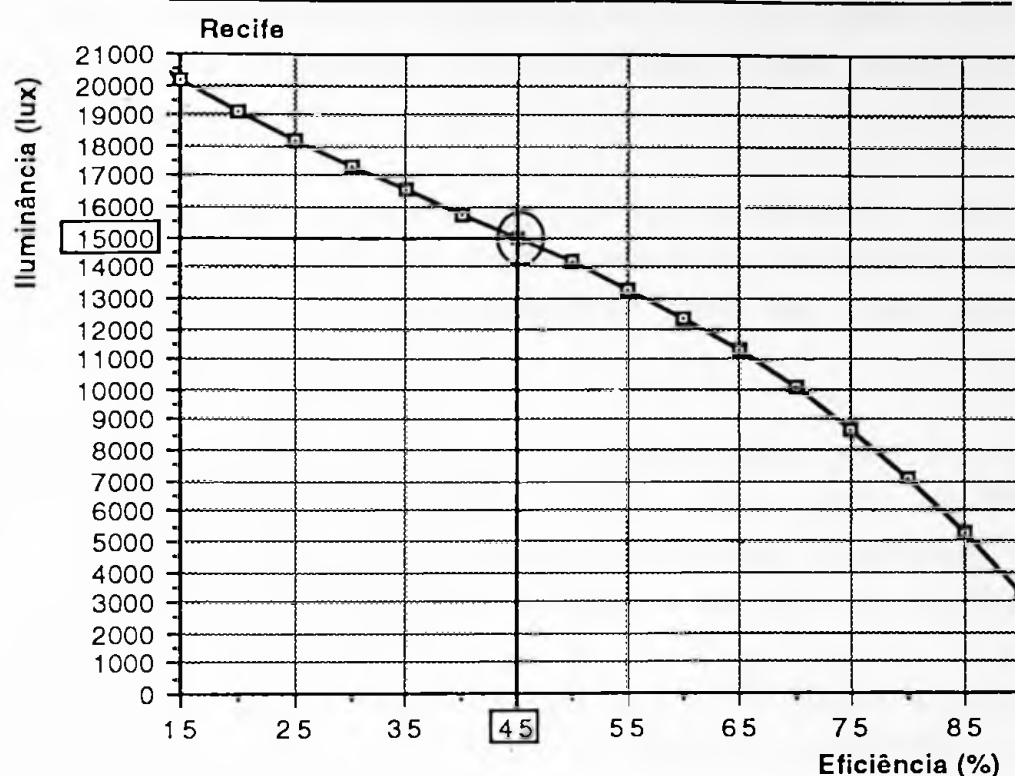


Figura 27: Distribuição da frequência de ocorrência (eficiência) dos vários níveis de iluminância na cidade de Recife

Conhecida a frequência com que ocorre cada nível de iluminância a projetista poderá "determinar" durante quantas horas por ano poderá utilizar a iluminação natural (ou seja, a eficiência que exigirá do seu projeto).

Estabelecida tal eficiência (por exemplo, 50%) e adotado o nível de iluminância adequado para o caso, determinado pela Norma NBR 5403 (por exemplo, 500 lux para sala de aula) o projetista poderá identificar a profundidade (P) adequada dos ambientes, em função da altura (H) da área envidraçada. Observar a sequência de procedimentos na Figura 29 (acompanhar a orientação das setas):

a. o projetista escolhe a eficiência a ser adotada: 50% (50% das horas do ano a iluminação será natural);

b. identifica um valor de FC(Fator de Céu)³² apropriado para o nível de

³² FC, Fator de Céu, expressa a contribuição devida apenas ao céu visível através da abertura. Essa variável

iluminância de 500lux: FC=3.6%

Nota: O gráfico que correlaciona "eficiência e FC" é o mesmo gráfico que correlaciona "eficiência e FLD" (Ver Figura 90). Aqui, na Figura 28, FLD é denominado FC para facilitar a aplicação do Procedimento. Ver item 6.2.

c para o FC de 3.6% a profundidade (ponto da sala onde será possível obter 500 lux, durante 50% das horas do ano) será de 1.8 vezes a altura da abertura (P/H =1.8) (no caso do exemplo a profundidade será de 4.5m pois a altura da abertura é de 2,5m).

É importante observar que esta é uma indicação para *orientar* o projetista no momento da **concepção do projeto**, pois o valor correto do FC, conforme indicado no capítulo 6 deste trabalho, dependerá da cor das superfícies internas da geometria da sala, da presença de obstruções externas e do fator de sombreamento dos vidros

A construção do gráfico que correlaciona o FC (%) e a relação "P/H" (Figura 29), pode ser construído com base no seguinte algoritmo, sugerido por Lin, B.P. et alii(1978)³³:

$$FC=0.5*(1-\cos\vartheta) * 0.438[1+2*\sin(\vartheta/2)]*2*IC *100 \quad (\%) \quad (\text{Eq } 34 \text{)}$$

sendo,

$$IC= \frac{[(\beta-\beta'(\cos\vartheta))]/(180*(1-\cos\vartheta))}{1} \quad (\text{Eq } 35 \text{)}$$

onde,

$$\beta'= \arctg (\tg\beta*\cos\vartheta) \quad (\text{Eq } 36 \text{)}$$

O gráfico da Figura 28 permite determinar diretamente IC, a partir de dos ângulo ϑ e β , descritos no esquema que acompanha essa Figura.

Nota: Para efeito deste cálculo, o ponto que define a profundida (P) está localizado no meio da largura do ambiente e o plano de trabalho tem altura igual ou inferior à altura do peitoril.

está comentada e calculada no item 6.2.2 deste trabalho.

³³ A distribuição da iluminância adotada corresponde ao céu tipo encoberto.

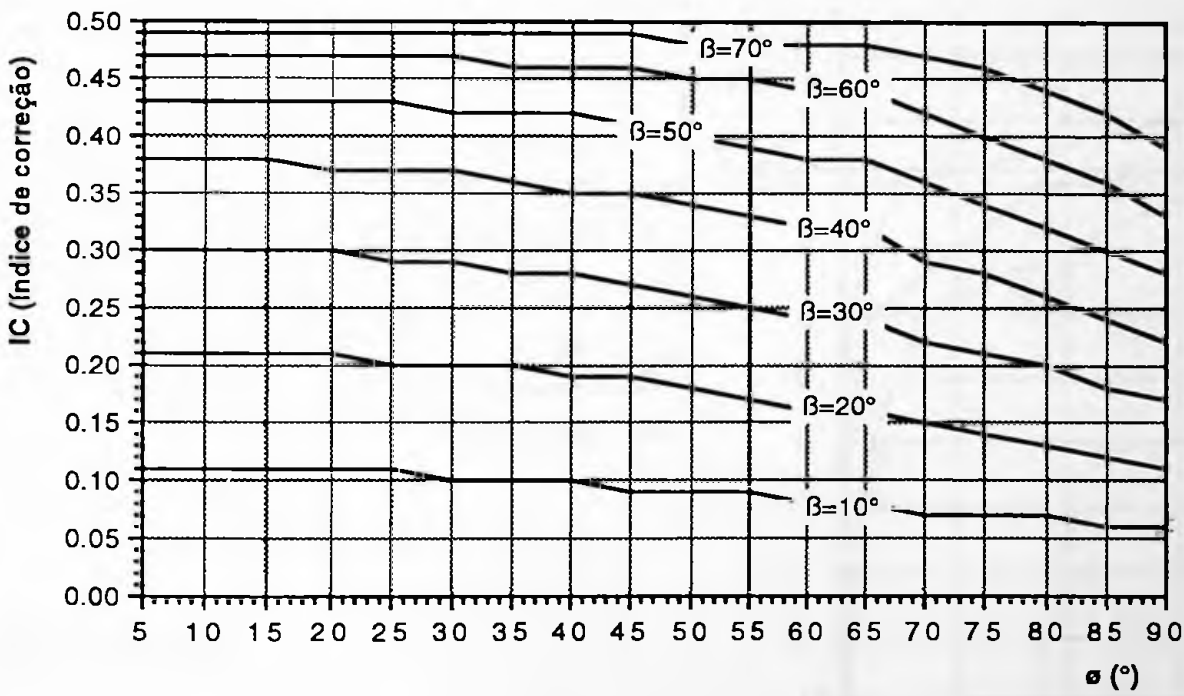
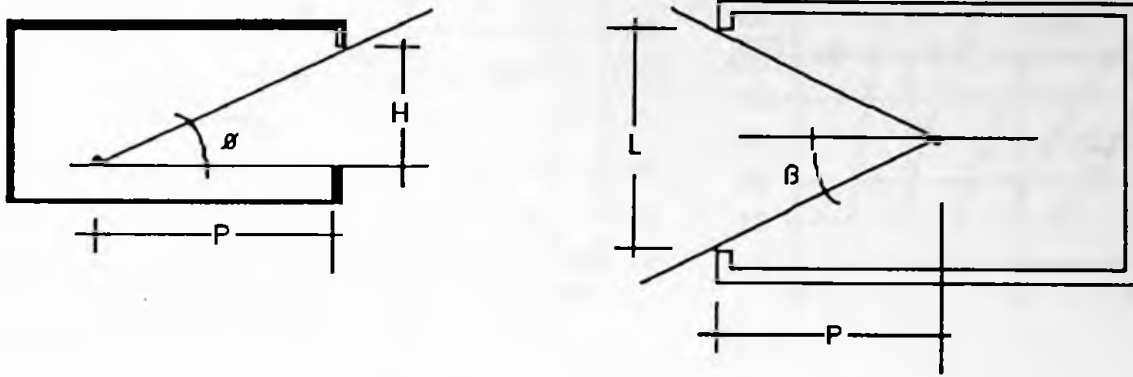
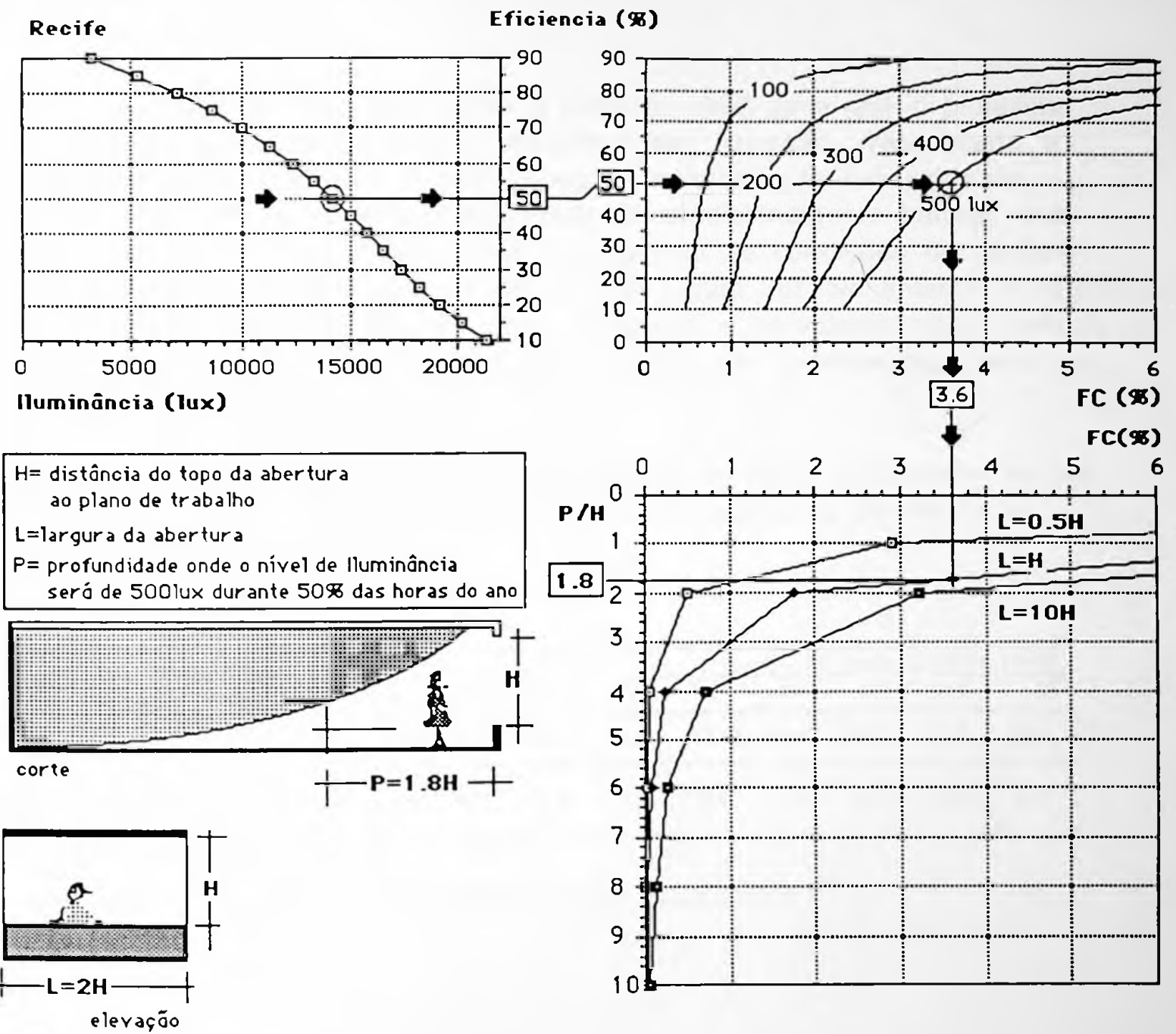


Figura 28 : Gráfico para determinação do índice de correção (IC) a ser adotado no cálculo do Fator de Céu(Equação nº34 e 35)



UMA ALTERNATIVA PARA ORIENTAR A GEOMETRIA DA EDIFICAÇÃO

Se $H = 2.5m$, uma edificação que apresentasse as dimensões ao lado otimizaria as condições de iluminação natural.

$P = 1.8 * 2.5 = 4.5m$

corte

Figura 29: Seqüência para identificação da profundidade dos ambientes que otimiza a iluminação natural.

D5 Ventos

Para os dados relativos aos ventos a condição ideal seria que o projetista tivesse acesso aos valores **medios horários da direção, velocidade e frequência** dos mesmos, mes a mes. Essas informações são fundamentais, particularmente quando existe a possibilidade de condicionamento natural, e a ventilação se mostra o meio mais eficiente para criar as condições de conforto térmico, como é o caso da cidade de Recife (Ver Figura 36). No entanto os registros dessa variável climática não são em geral divulgados, e os valores médios mensais da direção e velocidade, apesar de insuficientes, podem ser considerados como uma referência para o projetista.

A Figura 30 indica, para a cidade de Recife, as direções predominantes dos ventos, as quais o projetista deverá considerar ao posicionar as aberturas.

Recife												Período: 1961 a 1990		
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Direção	SE/L	SE/L	SE/L	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/S	SE/L	SE/L	SE/L		
Velocidade (m/s)	2.5	2.8	2.3	2.4	4.3	2.6	2.8	3.3	3.3	3.2	3.4	3.2		

Fonte: Ministério da Agricultura

Figura 30: Direção e velocidade dos ventos em Recife, nos doze meses do ano.

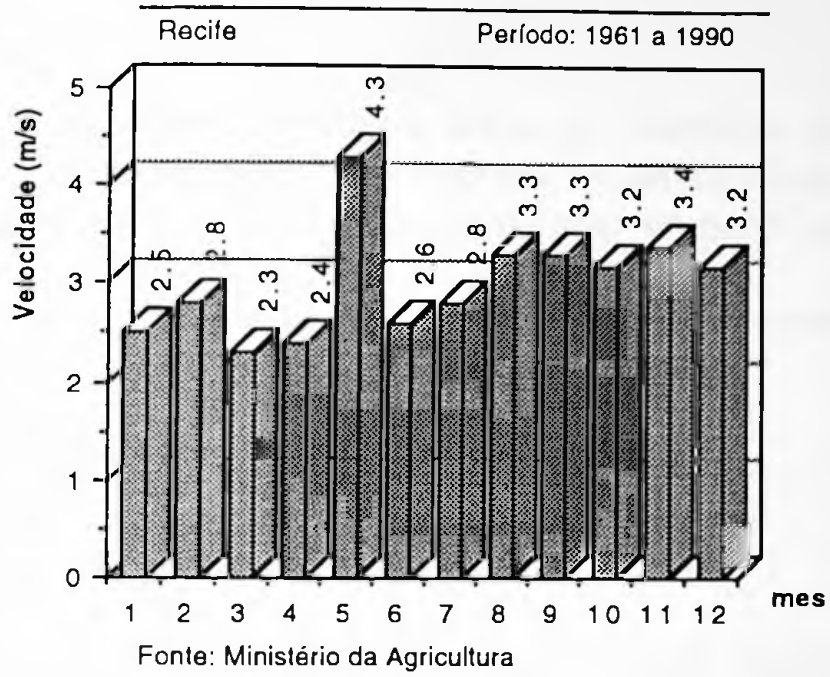


Figura 31: Velocidade média dos ventos, em Recife, nas direções assinaladas na Figura 30.

3.2.2 Carta Bioclimática (PDC2)

Objetivo:

Construção da **Carta Bioclimática e Balanço Horário das Solicitações Térmicas** visando a identificação dos recursos de projeto que garantem as condições de conforto térmico e os horários durante os quais aqueles recursos devem ser utilizados

Nota: A informação mais importante fornecida pela Carta Bioclimática e o Balanço Horário é a que se refere à possibilidade de dispensar-se ou não o condicionamento artificial..

Dados necessários:

1. Carta psicrométrica para a região em estudo;
2. Valores da temperatura máxima e mínima mensal, determinados no item 3.2.1 (D.1.2), (Figura 10);
3. Variação horária da temperatura do ar, mes a mes, determinada no item 3.2.1(D.1.3),(Figura 11);
4. Variação mensal da pressão de vapor,determinada no item 3.2.1(D.2.1),(Figura 12);

Procedimentos³⁴

A. Construção da Carta Psicrométrica

Para a construção da carta psicrométrica, adotar o seguinte algoritmo:

$$P_v = (P_{atm} \cdot x) / (622 + x) \quad (\text{mmHg}) \quad (\text{Eq } 37)$$

onde,

P_v = a pressão parcial de vapor d'água , função do conteúdo de umidade do ar,

P_{atm} = a média mensal da pressão atmosférica local (mmHg) (Ver Figura 7) e,

³⁴ Cada um dos procedimentos tem sua aplicação exemplificada com dados típicos da cidade de Recife.

x = a massa d'agua presente no ar (g/kg ar seco) e deve ser calculada por:

$$x = 622 \cdot P_{\text{sat}} / (P_{\text{atm}} - P_{\text{sat}}) \quad (\text{g/kg ar seco}) \quad (\text{Eq 38})$$

sendo que, " x " e " P_{sat} " devem ser determinados para temperaturas de 0°C a 40°C. Para tais temperaturas, " P_{sat} " deve ser calculado com base nas equações 3 e 4. O valor de P_{sat} determinado para cada valor da temperatura corresponde à **umidade relativa de 100%**.

Os demais valores (90%,80%.....)podem ser obtidos multiplicando-se P_{sat} por 0.9,0.8,0.7,.....0.1.

A título de exemplo, para a cidade de **Recife**, cuja pressão atmosférica média anual é de 759mmHg, os dados para a construção da carta psicrométrica encontram-se na tabela da Figura 32

Recife										
Patm=759 (média anual)										
	Pressão de vapor									
Temp(°C)	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.3	2.0	1.5	1.0	0.5
5	6.9	6.2	5.5	4.8	4.1	3.1	2.8	2.1	1.4	0.7
10	9.4	8.5	7.5	6.6	5.6	4.3	3.8	2.8	1.9	0.9
15	12.9	11.6	10.3	9.0	7.7	5.8	5.2	3.9	2.6	1.3
20	17.9	16.1	14.3	12.5	10.7	8.1	7.2	5.4	3.6	1.8
25	24.6	22.1	19.7	17.2	14.8	11.1	9.8	7.4	4.9	2.5
30	32.5	29.3	26.0	22.8	19.5	14.7	13.0	9.8	6.5	3.3
35	43.2	38.9	34.6	30.2	25.9	19.5	17.3	13.0	8.6	4.3
40	57.1	51.4	45.7	40.0	34.3	25.7	22.8	17.1	11.4	5.7

Figura32: Valores de pressão de vapor correspondente aos valores de umidade relativa de 10 a 100%, para a cidade de Recife.

A expressão gráfica dessa carta psicrométrica está na Figura 33.

B Construção da Carta Bioclimática^{3 5}

Tomando como base a carta psicrométrica construída conforme procedimento anterior, plotar os valores dos pares " temperatura máxima do mes e pressão de vapor correspondente" e " temperatura mínima do mes e pressão de vapor correspondente", mes a mes.

Os valores da temperatura máxima e mínima de cada mes já foram determinados no item 3.2.1 (ver Figura 10). Os valores da pressão de vapor correspondente à média mensal constam da Figura 12

Assinalados os referidos pares (temperatura e pressão de vapor) sobre a carta psicrométrica, delimitar as áreas propostas por Givonni(5) , conforme Figura 33.

Os limites definidos para identificação das 8 (oito) zonas foram propostos por Givoni(5) e Gonzales(7)³⁶. Cada uma das zonas indica os recursos de projeto que viabilizam as condições de conforto térmico. Para cada uma das zonas, os recursos de projeto estão descritos a seguir, no item C , que segue.

Observar na Figura 33, que a informação imediata que o projetista obtém ao construir a Carta Bioclimática refere-se ao uso do condicionamento artificial: para a cidade de Recife, necessariamente, durante 5 meses do ano, no período diurno, o condicionamento artificial não poderá ser dispensado! (Observar que nesses meses os pontos assinalados que correspondem às temperaturas máximas localizam-se na zona H)

Por outro lado, todas as noites do ano poderão ser consideradas confortáveis se garantidas as condições de ventilação.

³⁵A Carta Bioclimática é a expressão do diagnóstico climático de uma região e indica, a partir dos dados horários de temperatura e pressão de vapor para cada um dos meses do ano, as estratégias de projeto que permitem tornar os ambientes térmicamente agradáveis, utilizando para isso a própria edificação e seus elementos construtivos.

³⁶O diagnóstico climático aqui utilizado é uma adaptação do método proposto por B. Givoni (1976), e reelaborado pelo autor para um estudo proposto em 1986 para cidades da Venezuela (7). Essencialmente o método é um instrumento de projeto que permite identificar em que condições a ventilação, a massa térmica da edificação, o resfriamento evaporativo, a umidificação, etc, podem ser recursos para criar condições de conforto térmico. Ver comentários no item 4.1.1 deste trabalho.

Dessa forma, a **Carta Bioclimática** fornece as primeiras informações para o projetista iniciar o processo de concepção do projeto. No caso de **Recife**, o edifício deverá ser pensado, obrigatoriamente para condições de utilização com condicionamento artificial: restará ao projetista a decisão do uso exclusivo do condicionamento artificial ou uso parcial (apenas nos 5 meses durante os quais o mesmo se mostra inevitável). Qualquer que seja sua decisão, poderá ser estimado o consumo de energia elétrica, conforme Procedimento descrito no item 5.2.

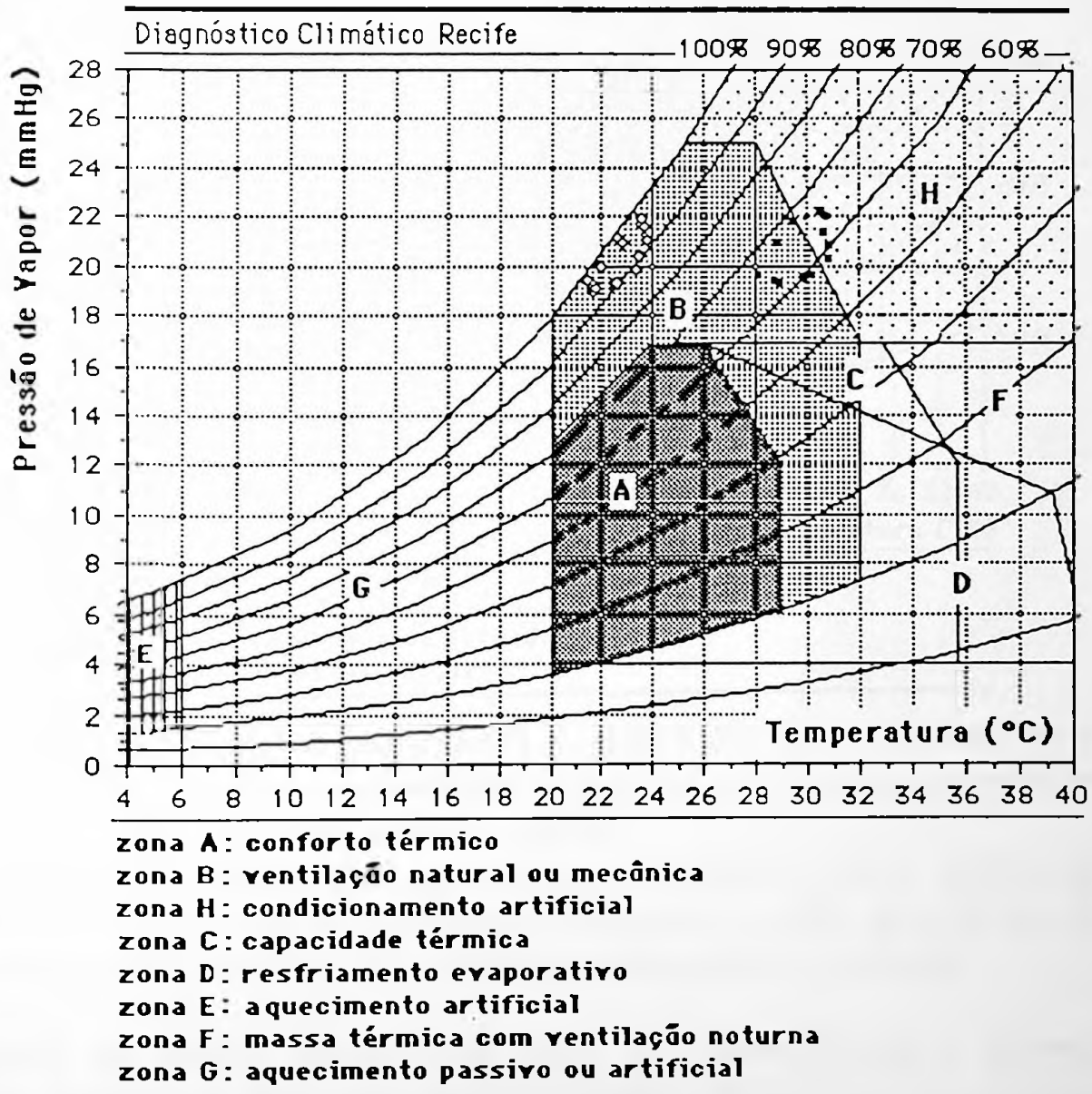


Figura 33: Identificação dos recursos de projeto a partir da localização dos valores das temperaturas máximas e mínimas mensais e respectivos valores de pressão de vapor, para a cidade de Recife.

A título de comparação, observar nas Figuras 34 e 35 as **Cartas Bioclimáticas** construídas com os dados das cidades de **Brasília** e **Manaus**.

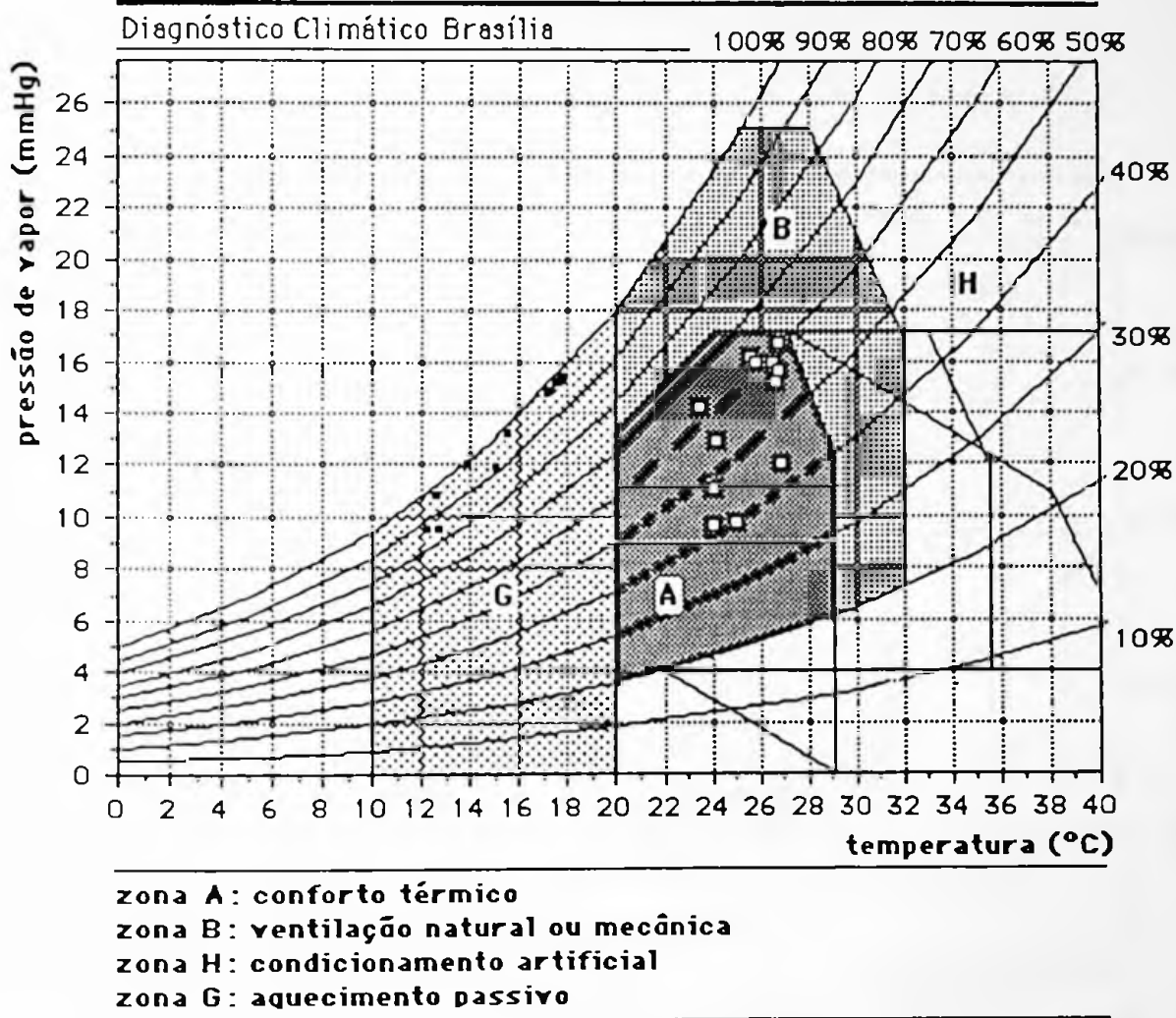


Figura 34: Identificação dos recursos de projeto a partir da localização dos valores das temperaturas máximas e mínimas mensais e respectivos valores de pressão de vapor, para a cidade de Brasília.

Para a cidade de **Brasília**, observar que o condicionamento artificial pode ser dispensado, ou seja, **soluções adequadas** de projeto podem garantir as condições de conforto térmico dos usuários. As **soluções adequadas** envolvem:

- controle do ganho de radiação solar nos horários onde a situação já é de conforto (Ver quadro do Balanço Horário, Figura 35);

- controle das condições de ventilação, particularmente no período

noturno, dado que as temperaturas mínimas ocorrem na zona G, onde o aquecimento passivo (armazenamento de calor) é uma alternativa para garantir as condições de conforto.

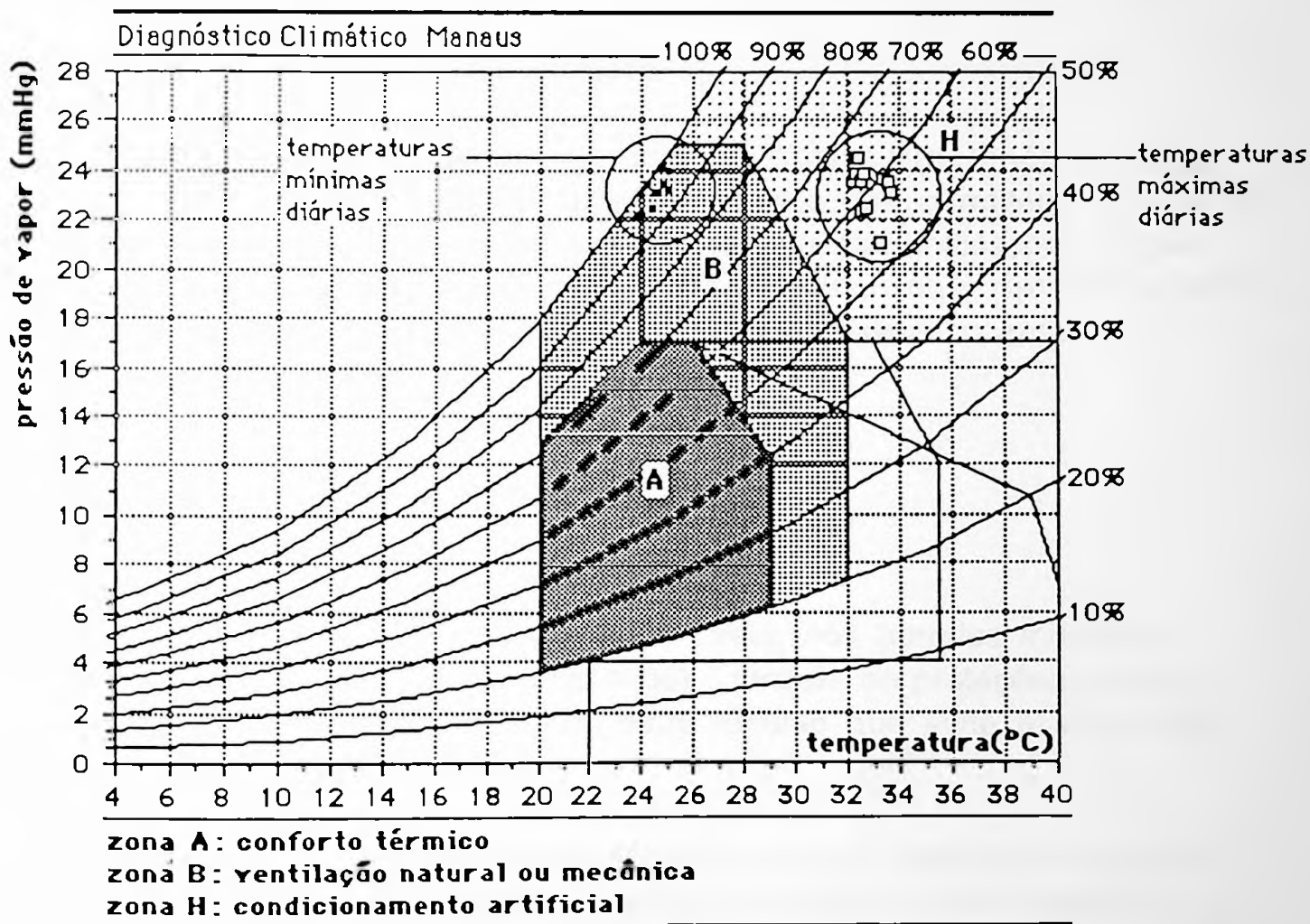


Figura 35: Identificação dos recursos de projeto a partir da localização dos valores das temperaturas máximas e mínimas mensais e respectivos valores de pressão de vapor, para a cidade de Manaus.

Para a cidade de Manaus, a Carta Bioclimática³⁷ indica que não existem horários, durante os doze meses do ano, que possam ser considerados confortáveis

³⁷ Observar que os 12 pontos marcados no gráfico da Figura 35, dentro do círculo da direita, indicam os valores correspondentes à temperatura máxima do dia para cada um dos meses (e respectiva pressão de vapor). No círculo da esquerda estão os 12 valores para temperatura mínima de cada um dos meses.

(unindo os pontos de temperatura máxima e mínima não existem pontos na **zona A**).

Observar que para **Manaus** a estratégia básica de projeto é a **ventilação**, nos períodos em que o condicionamento artificial pode ser dispensado.

Observar que não existe possibilidade de dispensar, em parcela significativa do dia, o uso de condicionamento artificial.

C. Descrição das Estratégias de Projeto

Para cada uma das **8(oito) zonas** indicadas na **Carta Bioclimática**, estão descritas a seguir as estratégias (parâmetros) de projeto que permitem garantir as condições de conforto térmico dos usuários. Observar que tais indicações podem contribuir para a fase de concepção do projeto arquitetônico, mas, necessariamente a avaliação do desempenho térmico do mesmo precisará ser realizado após o detalhamento do projeto básico.

Zona A: zona de conforto

Parâmetros de projeto:

1. Proteger os ambientes da radiação solar direta, nos horários indicados no quadro de Balanço Horário (Ver Figura 36) , através de proteções solares (brises), proteções internas ou qualquer outro recurso que evite a incidência direta da radiação solar ;

Nota: para dimensionar a proteção solar consultar dados de ângulo de altura solar e azimute já identificados no item 3.2.1(ver Figura 16) ou um diagrama solar típico da latitude em estudo.

Zona B

Parâmetros de projeto:

1. Proteger os ambientes da radiação solar direta, nos horários indicados no quadro de Balanço Horário (Ver Figura 36) (todos horários que se localizem na zona B), através de proteções solares (brises), proteções internas ou qualquer

outro recurso que evite a incidência direta da radiação solar ;

Nota : Para dimensionar a proteção solar consultar dados de ângulo de altura solar e azimute já identificados no item 3.2.1 (ver Figura 16) ou um diagrama solar típico da latitude em estudo.

2. Orientar as **áreas envidraçadas** com base nas informações fornecidas pela variação horária da temperatura ar-sol, do mes mais quente. (Ver item 3.2.1, Figura 23);

3. Orientar as **aberturas e dispor os ambientes** a partir dos dados de vento (ver item 3.2.1, Figura 30) de modo a promover ventilação abundante nos horários indicados no Balanço Horário (figura 36);

Exemplo: Para Recife (ver Figura 33) praticamente todos os horários do dia e da noite exigem ventilação para que sejam criadas situações de conforto. A ventilação deverá ser substituída pelo condicionamento artificial nos meses de dezembro a abril, durante algumas horas do dia. Observar que se a localização da edificação dificulta a entrada dos ventos, poderá ser utilizada a ventilação mecânica.

3. otimizar a **geometria e a implantação da edificação no terreno**, de modo a minimizar a carga térmica acumulada devido à radiação solar, utilizando as relações identificadas em D.3.2.

Zona C

Parâmetros de projeto:

1. Proteger os ambientes da radiação solar direta, nos horários indicados no quadro de Balanço Horário (Figura 36), através de proteções solares (brises), proteções internas ou qualquer outro recurso que evite a incidência direta da radiação solar ;

Nota : Para dimensionar a proteção solar consultar dados de ângulo de altura solar e azimute já identificados no item 3.2.1, Figura 16 ou um diagrama solar típico da latitude em estudo.

2. Orientar as **áreas envidraçadas** com base nas informações fornecidas pela variação horária da temperatura ar-sol, do mes mais quente. (Ver item 3.2.1, Figura 23)

3. Buscar soluções construtivas (para paredes, piso e coberturas) que apresentem alta capacidade térmica, evitando a colocação de isolantes térmicos nas faces internas dos componentes. A função da capacidade térmica nestes casos é reduzir a amplitude da temperatura exterior e provocar o atraso suficiente para que a temperatura interna máxima ocorra quando a temperatura exterior já apresente valores mais baixos. Observar que este recurso de projeto é adequado quando a pressão de vapor apresente valores inferiores a 17mmHg, pois para valores superiores a ventilação passa a ser um instrumento de maior eficiência.

Nota: A capacidade térmica da edificação depende das características térmicas dos seus componentes. A avaliação precisa do efeito da capacidade térmica da edificação nas condições de conforto deve ser feita com a aplicação do procedimento descrito no capítulo 4 deste trabalho item 4.2.2) . Cabe observar que este recurso de projeto é particularmente adequado quando a amplitude térmica é levada ($>12^{\circ}\text{C}$).

Zona D

Parâmetros de projeto:

1. Proteger os ambientes da radiação solar direta, nos horários indicados no quadro de Balanço Horário (Figura 36), através de proteções solares (brises), proteções internas ou qualquer outro recurso que evite a incidência direta da radiação solar ;

Nota : Para dimensionar a proteção solar consultar dados de ângulo de altura solar e azimute já identificados no item 3.2.1, Figura 16 ou um diagrama solar típico da latitude em estudo.

2. Orientar as áreas envidraçadas com base nas informações fornecidas pela variação horária da temperatura ar-sol, do mes mais quente. (Ver item 3.2.1, Figura 23);

3. Reduzir a temperatura do ar através do processo de evaporação d'água. Este recurso se mostra eficiente em regiões quentes e secas. A presença de massas d'água em áreas de temperatura elevada provocam a evaporação das mesmas, reduzindo a temperatura e aumentando a umidade relativa do ar.

Nota: Observar que a superposição das zonas C e D indicam que devem ser utilizadas as estratégias de projeto indicadas para as duas zonas.

Zona E

Parâmetros de projeto:

1. Expor ao máximo a edificação à radiação solar.
2. Controlar a ventilação e dimensionar caixilhos de modo que a infiltração seja minimizada³⁸.

Nota: Neste caso o aquecimento artificial é indispensável.

Zona F

Parâmetros de projeto:

1. Os mesmos parâmetros indicados para a **zona C**, mas garantindo ventilação noturna.

Nota: Alguns autores, como Novell,B.J.(38), recomendam **condicionamento artificial** neste caso.

Zona G

Parâmetros de projeto:

1. Expor a edificação à radiação solar (particularmente as áreas envidraçadas);

Nota: Observar que a exposição à radiação solar é um recurso que deve ser cuidadosamente analisado, pois frequentemente, existem pontos localizados na Carta Bioclimática que indicam tanto a exposição como a proteção contra a radiação solar. Nesses casos, será necessário que as proteções solares sejam móveis.

³⁸Para controle da infiltração de ar pelos caixilhos observar a Norma Brasileira NB 606(1980).

2. Controlar a ventilação (caixilhos basculantes, com comando de fácil acesso aos usuários).

3. Usar sistemas construtivos de alta capacidade térmica, de modo que o calor armazenado seja liberado no período noturno.(Ver item 4.2.2)

Zona H

Parâmetros de projeto:

1. Proteger os ambientes da radiação solar direta, nos horários indicados no quadro de Balanço Horário(Figura 36), através de proteções solares (brises), proteções internas ou qualquer outro recurso que evite a incidência direta da radiação solar ;

Nota : Para dimensionar a proteção solar consultar dados de ângulo de altura solar e azimute já identificados no item3.2.1, Figura 16 ou um diagrama solar típico da latitude em estudo.

2.Orientar as áreas envidraçadas com base nas informações fornecidas pela variação horária da temperatura ar-sol, do mes mais quente. (Ver item 3.2.1,Figura 23)

3.Otimizar a geometria e a implantação da edificação no terreno, de modo a minimizar a carga térmica acumulada devido à radiação solar, utilizando as relações identificadas em D.3.2.

E Balanço Horário das Solicitações Térmicas

Com base na mesma informação utilizada para construção da Carta Bioclimática (temperatura e pressão de vapor), é possível identificar o **Balanço Horário das solicitações térmicas**, isto é, identificar ao longo do dia de cada um dos 12 meses, quais são os **recursos de projeto** que podem ser utilizados. Essa informação permitirá ao projetista, por exemplo, identificar os horários em que a **ventilação** é indispensável e assim, conhecendo a direção dos ventos predominantes saberá onde localizar as aberturas.

Para identificar o Balanço Horário³⁹ para uma dada região são necessárias as seguintes informações:

- a. variação horária da temperatura do ar, mes a mes (Ver Figura 11);
- b. pressão de vapor média mensal (Ver Figura 12).

A título de exemplo, a Figura 36 indica o balanço horário das solicitações térmicas para a cidade de Recife. Observar que estão indicados os horários do dia, mes a mes, durante os quais a ventilação é um recurso para manter as condições de conforto térmico dos usuários. Praticamente durante 97% das horas do ano a ventilação é um elemento de conforto. As demais horas necessitam de condicionamento artificial para resfriamento.

³⁹ Para efeito deste trabalho, foi elaborado um programa de cálculo que permitiu identificar a variação horária da solicitação térmica, a partir da definição das equações das retas que determinam cada zona da Carta Bioclimática. A determinação do balanço térmico fica bastante trabalhoso se não contar com recursos computacionais, pois será necessário plotar na Carta Bioclimática, pelo menos 144 pontos (12 pares de temperatura e pressão de vapor, correspondentes a 12 meses). O programa de cálculo não está sendo apresentado dado que o objetivo do trabalho é permitir a aplicação dos Procedimentos por projetistas que não disponham de recursos computacionais.

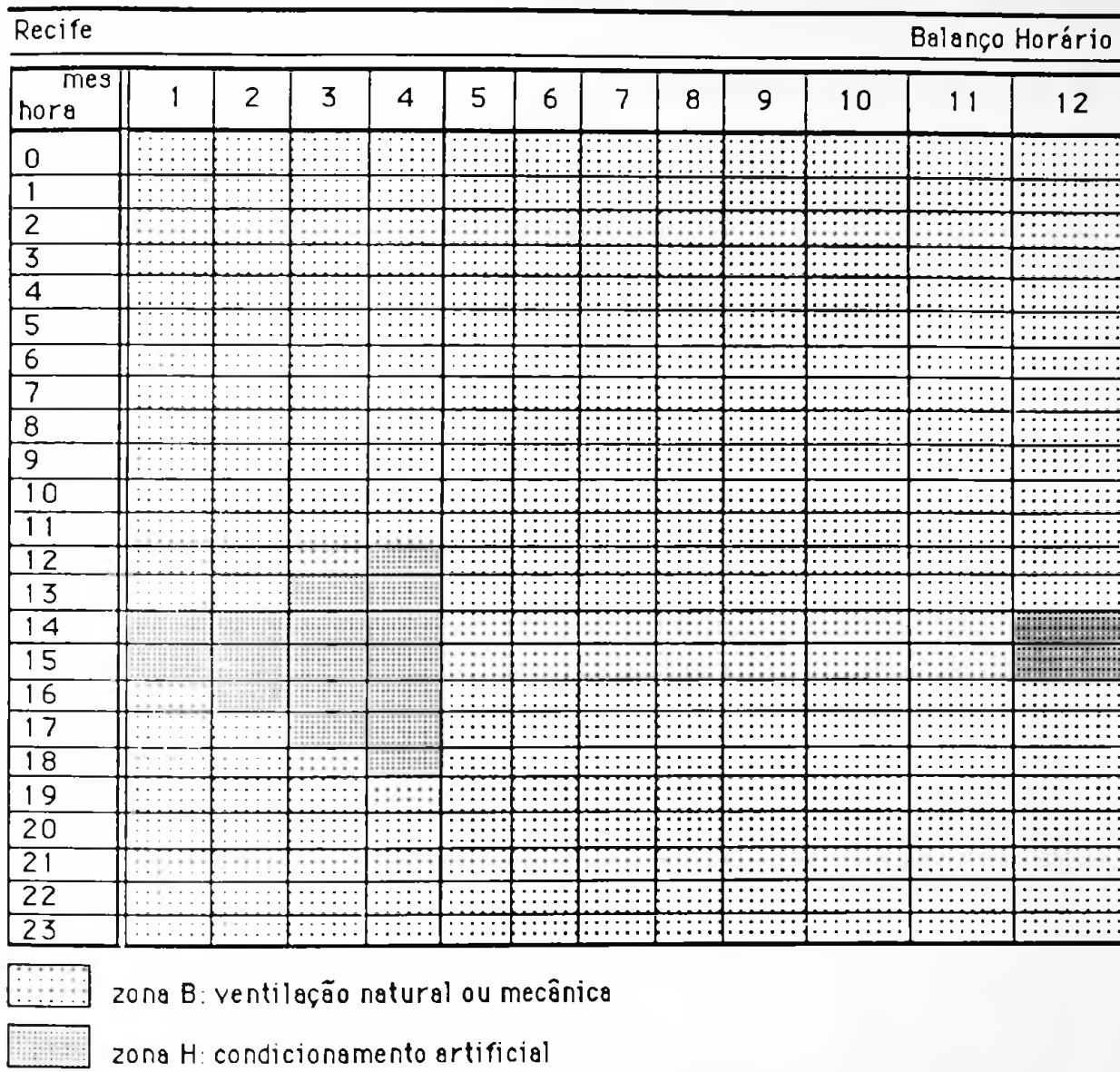


Figura 36: Balanço Horário das Solicitações Térmicas, para a cidade de Recife

Já para a cidade de **Manaus**, o Balanço Horário (Figura 37) indica:

a. que para 63% das horas do ano as condições de conforto térmico podem ser atingidas com recursos de ventilação e que para o período restante, 37% das horas do ano, as condições de conforto só poderão ser atingidas com recursos artificiais de climatização.

b. que, se considerado apenas o período correspondente ao horário comercial (8

às 18h), 77% desse período necessita de climatização artificial.

c. que para as edificações condicionadas naturalmente, as aberturas de ventilação deverão considerar que a direção predominante dos ventos, indicadas na Figura 30 .

d. que a necessidade de sombreamento é permanente: todos os dias do ano, todas as horas do dia.

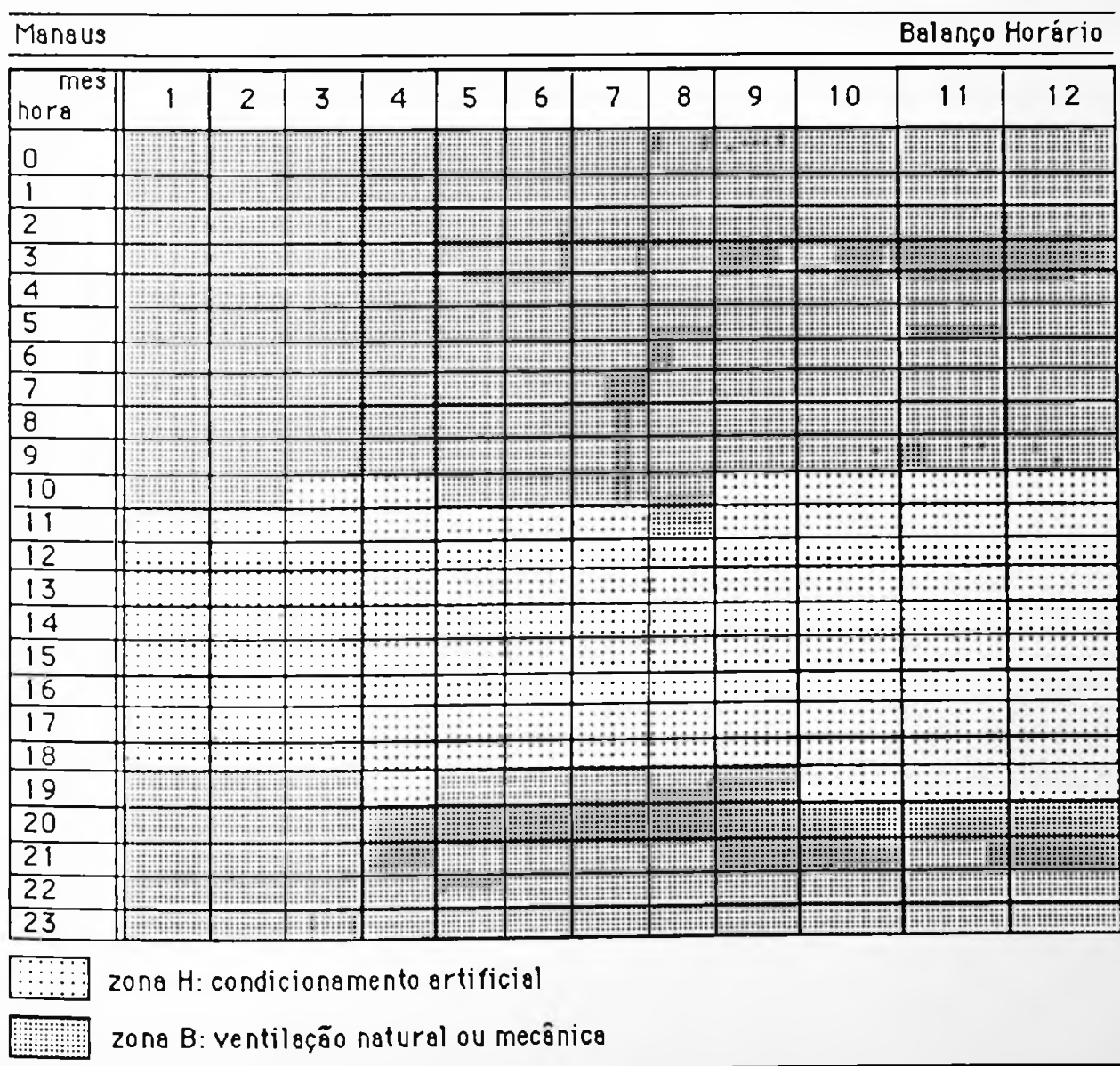


Figura 37: Balanço Horário das Solicitações Térmicas, para a cidade de Manaus

Para a cidade de **Brasília** (ver Figura 38), as solicitações térmicas são bastante diferentes daquelas consideradas para **Recife** e **Manaus**:

- a. o condicionamento artificial(resfriamento) **pode ser dispensado**;
- b. **37%** das horas do ano podem ser **consideradas confortáveis** (e ocorrem no período das 11h às 18h, durante todo o ano);
- c. **11%** das horas do ano **necessitam da ventilação** para que seja atingida a condição de conforto térmico, observando-se que tal situação ocorre particularmente à noite (das 19h às 23h), nos meses de outubro a março;
- d. para o período compreendido entre 0h e 8h da manhã, todos os meses do ano **exigem que a ventilação** seja controlada, de modo que o calor permaneça armazenado (aquecimento passivo).

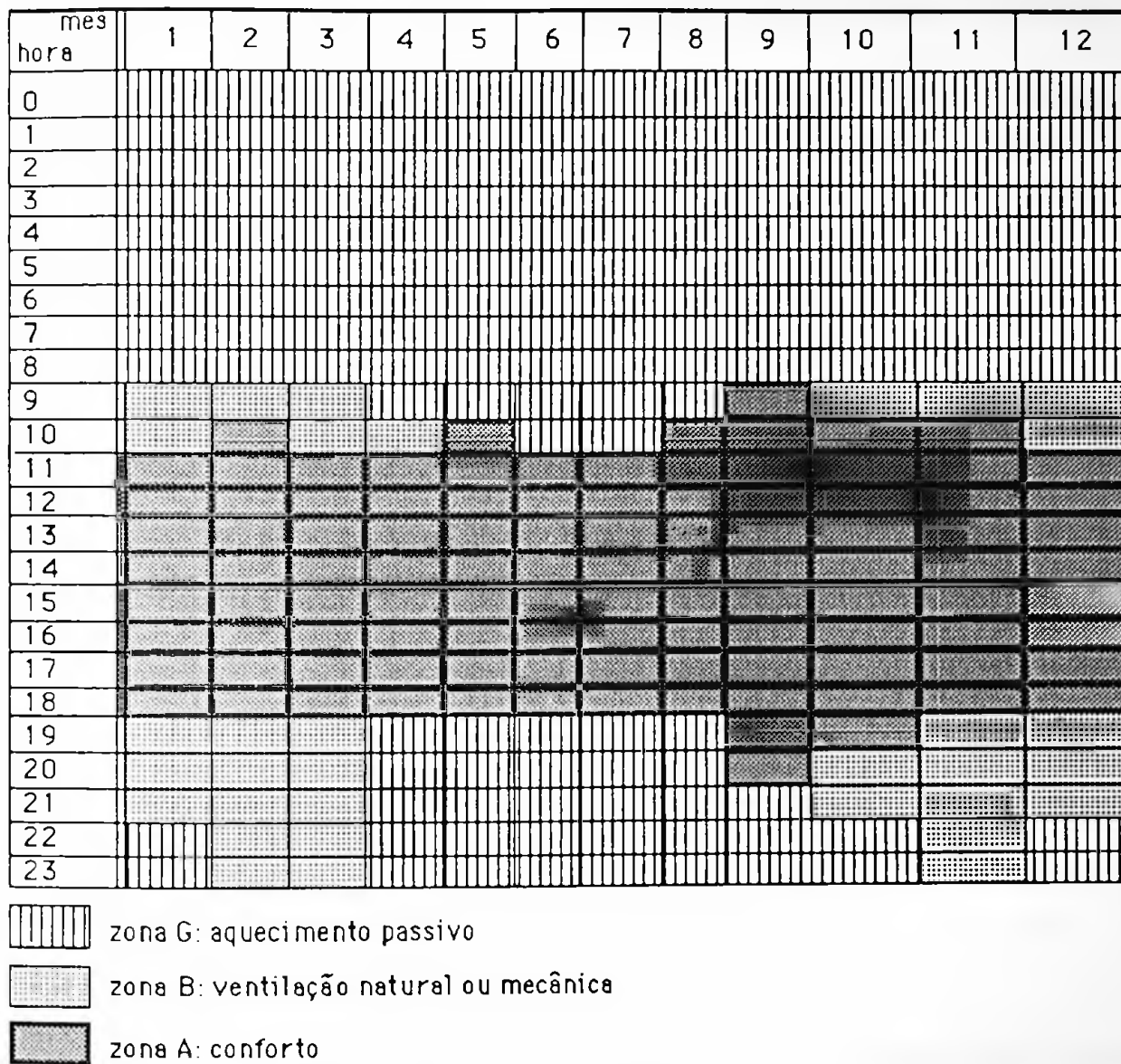


Figura 38 Balanco Horário das Solicitações Térmicas, para a cidade de Brasília

3.2.3 Parâmetros Básicos para a Concepção do Projeto (PDC3)

Conhecido o diagnóstico climático através da Carta Bioclimática (Figura 33) e o Balanço Horário de Solicitações Térmicas (Figura 36), assim como os dados relativos à radiação solar, insolação e ventos, será possível ao projetista identificar as informações básicas que devem orientar a concepção do projeto arquitetônico.

Com base nas funções a serem realizadas no interior da edificação e nas respostas dadas às questões abaixo, o projetista poderá selecionar os parâmetros que o orientarão na concepção inicial do projeto.

NOTA: Observar que, quaisquer que sejam as respostas às referidas perguntas e mesmo sem pautar-se pelos parâmetros de projeto assinalados a seguir, uma vez definido o projeto básico, o projetista poderá avaliar o desempenho térmico e o desempenho luminoso do mesmo, aplicando os procedimentos citados no item deste trabalho.

As questões básicas a serem respondidas, antes de iniciar o projeto propriamente dito, são:

1. As condições climáticas regionais permitem dispensar o condicionamento artificial (para resfriamento e/ou aquecimento)? Em quais períodos?
2. A edificação será condicionada artificialmente, todos os dias do ano, independentemente das características climáticas da região? Por que?
3. A edificação será iluminada artificialmente, mesmo que a iluminação natural seja suficiente durante alguns períodos do dia? Por que?

Em função das respostas dadas a tais questões, o projetista deverá observar a seguinte orientação quanto aos parâmetros de projeto:

Nota: Com o objetivo de ilustrar parte das respostas às perguntas formuladas, estão utilizados os dados para a cidade de Recife.

1. As condições climáticas regionais permitem dispensar o condicionamento artificial (para resfriamento e/ou aquecimento)? Em quais períodos?

Procedimento:

Consultar a Carta Bioclimática (Figura 33) e o Balanço Horário (Figura 36).

Resposta: Sim. O condicionamento artificial pode ser dispensado durante 97% das horas do ano.

2. A edificação será condicionada artificialmente, todos os dias do ano, independentemente das características climáticas da região? Por que?

Procedimento:

Para responder o projetista deverá levar em conta as funções às quais se destinam os ambientes da edificação, assim como a opção dos usuários da mesma (ou a decisão do cliente).

Resposta : Sim. As atividades a serem realizadas no interior da edificação exigem condições de temperatura e umidade constantes.

Procedimento:

Neste caso ,quando o sistema de condicionamento artificial permanecerá acionado durante todas as horas do ano, o parâmetro mais importante na fase de concepção do projeto está na implantação e na geometria da edificação assim como na localização e dimensão das áreas envidraçadas.

Para que o ganho de radiação solar seja minimizado, observar o procedimento descrito em D.3.2.

Para a localização das aberturas, deve ser consultado o gráfico de temperatura ar-sol(Ver item 3.2.1, Figura 23)

Para a cidade de Recife, a geometria mais adequada será, para um Volume de 10000m^3 , aquela que obedece a relação em planta de 1.3 : 1, com a maior face voltada para a orientação Norte e altura de 24m (8 andares) (ver Figura 21). Soluções alternativas deverão ser analisadas com base nas informações descritas em D.3.2..

A posição preferencial para as áreas envidraçadas, nessa cidade⁴⁰, será a fachada Norte, seguida da fachada Este, e Sul. A fachada Oeste é a mais crítica (Ver gráfico da Figura 23). Se as aberturas se localizarem aí, será necessário o uso de proteção solar e/ou vidros especiais.

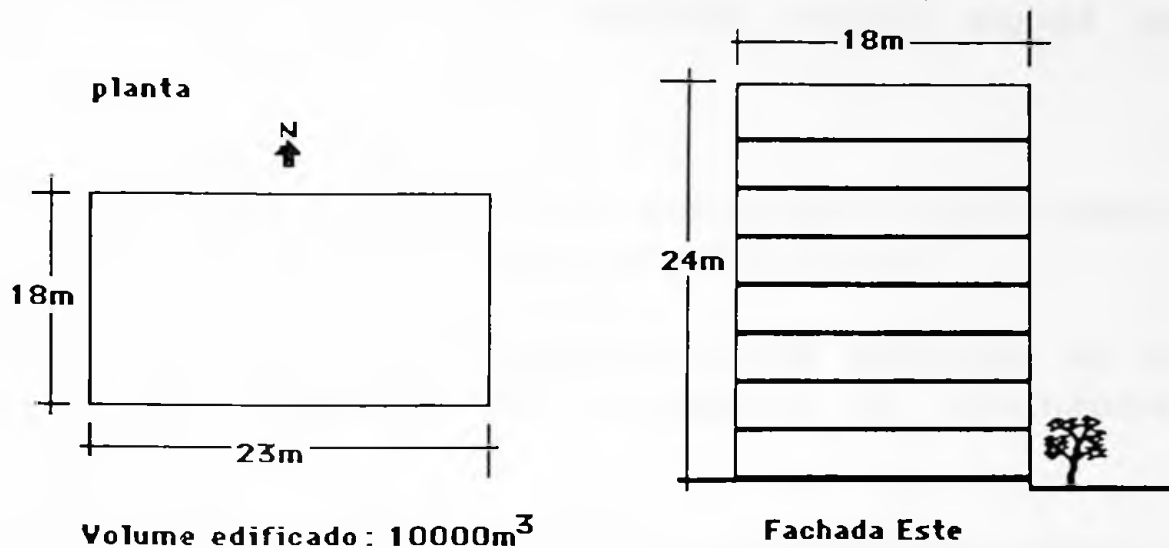


Figura 39: Geometria de edificação que minimiza o ganho de calor, em Recife.

Nota: Em seguida, já na fase de desenvolvimento do projeto executivo, o projetista deverá estimar o consumo de energia elétrica para o condicionamento artificial. Para tanto deverá consultar os procedimentos descritos em 5.2.

Resposta: Não. O ar condicionado deverá ser acionado apenas nos horários em que as condições de conforto não forem atendidas.

Procedimento:

Consultar a Carta Bioclimática (Figura 33) e as respectivas recomendações para o projeto em função da localização dos pontos nas zonas climáticas e o Balanço Horário (Figura).

Para a cidade de Recife, considerando que praticamente todos os horários do dia e da noite (a menos daqueles que exigem condicionamento artificial) localizam-se na zona B, os parâmetros a serem adotados na concepção do projeto deverão ser aqueles listados para essa zona.

Nota: Uma vez concebido o projeto básico, o projetista deverá avaliar o desempenho térmico do mesmo e

⁴⁰ Se existe a possibilidade de escolha para outras orientações, devem ser consultados os gráficos de Tas para todas as orientações, para o mes mais quente.

verificar se , mesmo atendendo as estratégias de projeto sugeridas, é possível dispensar o condicionamento artificial. O procedimento para avaliação está descrito no item 4.2

3. A edificação será iluminada artificialmente, mesmo que a iluminação natural seja suficiente durante alguns períodos do dia? Por que?

Procedimento:

Para responder o projetista deverá levar em conta as funções às quais se destinam os ambientes da edificação, assim como as características dos usuários da mesma.

Resposta: Sim. As atividades a serem realizadas no interior da edificação exigem níveis constantes de iluminância.

Procedimento:

Neste caso, o projetista deverá registrar apenas a preocupação com o projeto do sistema de iluminação artificial.

Observar que a escolha das luminárias e lâmpadas deverá estar diretamente associada à **dimensão do pé direito**. De um modo geral, o sistema de iluminação artificial deverá apresentar

características tais que a potência não ultrapasse 20W/m^2 ⁴¹.

Resposta : Não. O sistema de iluminação artificial será acionado de modo que a iluminação natural seja suficiente durante 50% das horas do período de utilização da edificação, no ano.

Procedimento:

Neste caso, o projetista deverá consultar ,no Procedimento descrito em 3.2.1, a Figura 29 que permitirá identificar a profundidade adequada para otimizar as condições de iluminação natural. Observar que o exemplo citado na Figura 29 indica que a profundidade do ambiente de **4.5m para a cidade de Recife**, poderá garantir uma eficiência de **50%**

⁴¹ A tendência internacional, quando o parâmetro de conservação de energia elétrica é levado em conta, é o dimensionamento do sistema de iluminação artificial que não ultrapasse 18W/m^2 . Alguns países, como a Itália já defendem a iluminação localizada (task-light) de modo a não ultrapassar 12W/m^2 .

Nota: Em seguida, já na fase de desenvolvimento do projeto executivo, o projetista deverá estimar o consumo de energia elétrica para a iluminação artificial. Para tanto deverá consultar os procedimentos descritos em 6.2

4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

Nesta fase, em que o **projeto básico** já está desenvolvido, caberá a etapa de **avaliação do desempenho térmico**⁴² da edificação. Em última análise, o projetista buscará responder às seguintes questões:

- a. Nos meses em que o **condicionamento artificial pode ser dispensado** (o que foi verificado na etapa do Diagnóstico Climático-Ver capítulo 3, item 3.2.2), o desempenho térmico da edificação **será satisfatório?**
- b. Em **caso negativo**, quais as **modificações** que poderão ser introduzidas no projeto para tornar adequado seu desempenho térmico e conseqüentemente, **dispensar o condicionamento artificial?**
- c. Caso o projetista **opte pelo condicionamento artificial** (mesmo que potencialmente dispensável), **qual será o consumo de energia elétrica?**
- d. Nos meses em que o **condicionamento artificial é indispensável**, qual será o **consumo de energia elétrica?**

Para responder às questões **a e b**, o projetista deverá proceder à avaliação do desempenho térmico do projeto básico, aplicando os procedimentos descritos a seguir.

As questões **c e d** deverão ser respondidas com base nos procedimentos listados no item 5.2.

⁴²Avaliação de desempenho deve ser entendida como a verificação do atendimento dos critérios pré-estabelecidos. Esses critérios estão formulados no item 4.2.1.

4.1 Considerações Gerais

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação pressupõe a existência de um conjunto de **critérios**, formulados de modo que as **exigências de conforto térmico do usuário** sejam atendidas.

Para a **verificação** de tais critérios são estabelecidos os **métodos de avaliação**.

Nos parágrafos que seguem (4.1.1 a 4.1.3) estão comentadas as exigências de conforto, os critérios e os métodos de avaliação do desempenho térmico das edificações.

4.1.1 Exigências Humanas de Conforto Térmico

A formulação dos **critérios de desempenho térmico** depende da identificação das **exigências humanas de conforto** que devem ser atendidas no interior das edificações.

Apesar das diferenças que ocorrem de país para país, do ponto de vista do conforto térmico as **exigências humanas** tem sido expressas através da definição das chamadas *Condições de Conforto*, que combinam o efeito:

- a. da temperatura de bulbo seco o ar;
- b. da umidade relativa do ar;
- c. da velocidade do ar;
- d. da temperatura radiante média do ar (que é função da temperatura superficial interna dos componentes construtivos).
- e. características dos ocupantes, expressas pelo tipo de atividade realizada (taxa metabólica) e pelo índice de resistência térmica das roupas.

Os primeiros estudos relacionados ao conforto térmico tiveram início na Europa em princípios do século XIX, quando as atividades de mineração e da indústria têxtil implicavam em sérios problemas de saúde para os trabalhadores, dadas as condições de temperatura e de umidade nesses locais.

Segundo Gonzalez et alii,(1986) (7), nos últimos 50 ou 60 anos uma grande quantidade de experimentos foram realizados com o objetivo de identificar a interação entre o clima e o corpo humano. A variação observada entre os resultados obtidos pelos vários pesquisadores decorre não só da importância associada à cada uma das variáveis estudadas, como das condições nas quais os índices devem ser utilizados.

Para os índices de conforto formulados e que tiveram maior significado junto ao meio técnico, Gonzalez(7) sugere sua classificação em dois grupos distintos:

a. índices empíricos, obtidos a partir de experimentos em condições de exposição controladas;

b. índices teóricos, resultados da solução de equações onde intervem as variáveis que afetam o equilíbrio térmico do corpo humano e sua sensação de conforto.

Nota: Observar que, apesar de partirem de equações que descrevem processos metabólicos, a formulação dos índices exige a realização de experimentos com indivíduos que "apontam" as sensações subjetivas de conforto.

Dentro do primeiro grupo, cabe ressaltar o índice proposto por HOUGHTON,F.C. e YAGLOU,C.P. , em 1923, quando trabalhavam para a American Society of Heating and Ventilating (ASHVE).

Esse índice, denominado **Temperatura Eficaz (TE) ou Temperatura Efetiva (TE)**, teve por base um diagrama psicrométrico sobre o qual foram delimitadas "linhas de igual conforto".

Inicialmente a determinação da **TE** considerava apenas as variáveis temperatura e umidade relativa, incorporando depois o efeito da variável velocidade do vento.

Posteriormente, em 1947, usando o índice de **TE** , BEDFORD,T.(7) incluiu o efeito da temperatura radiante e propôs dois nomogramas para determinação da **TE**, sendo um para pessoas normalmente vestidas e outra para pessoas com dorso exposto. Essa nova versão do índice passou a denominar-se **Temperatura Eficaz Corrigida**

(TEC) ou Temperatura Efetiva Corrigida (TEC).

As críticas ao índice TEC centraram-se no fato que, para temperaturas acima de 32°C o aumento da velocidade do ar produzia um efeito de aquecimento maior que o sugerido pelos nomogramas e que o efeito da umidade relativa do ar era subestimado para temperaturas elevadas e subestimado para baixas temperaturas.

Segundo Gonzalez(7), apesar dessas críticas, a ASHRAE -American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers utilizou o índice TEC como padrão durante mais de 40 anos , substituindo-o ,então, pelo "New Effective Temperature Index" (TE*).

Este último índice levou em conta, inicialmente, os resultados de estudos desenvolvidos por Gagge,A.P. ,Stolwik,J.A.J. e Nishi, Y. e foi sendo corrigido ao longo do tempo, incorporando resultados de experimentos com grupos de diferentes idades, sexo, hábitos alimentares, além das alterações decorrentes das crises de energia, que passaram a exigir que os limites e conforto, particularmente no inverno, fossem reduzidos.

A versão atual desse índice consta da ANSI/ASHRAE 55- 1981 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (78).

O TE* é um índice teórico baseado na equação de balanço térmico, que correlaciona as trocas de calor do corpo humano respostas fisiológicas e psicofísicas dos usuários. É o índice adotado como referência na documentação normativa americana (Federal Register/Vol. 54, N° 18,1989 -Rules and Regulations) (8).

Adotado por RORIZ,M. (13) a Temperatura Efetiva Padrão (TEP) é um índice que permite **associar os limites de conforto às características climáticas locais** (temperatura média exterior).

Adotado hoje pelo CIBSE- Chartered Institute of Buildings Services Engeneering da Inglaterra , o índice TEP está sendo empregado para estimar o desempenho térmico de edificações através de softwares.

A determinação desse índice leva em consideração o conceito de "neutralidade térmica (Tn)", definida por RORIZ(13), como a ... "media das temperaturas do ar sob as quais a maioria das pessoas não sente nem calor e nem frio". Para o cálculo de Tn é considerado o valor da temperatura media anual⁴³, definindo-se para o valor de Tn encontrado uma "faixa de tolerância" de + ou - 2.0°C.

Com base no valor encontrado para Tn o autor sugere a definição de uma "zona de conforto", que é determinada sobre uma carta psicrométrica.

Dos índices propostos na bibliografia consultada, este é o único que permite considerar na definição dos limites de conforto, **as condições de exposição às quais os usuários estão aclimatados**⁴⁴.

Ainda dentro dos índices classificados como empíricos está o índice denominado **Temperatura Resultante (TR)**, proposto na França por Missenard,A. (5) e publicado em 1948, em Chaleur et Industrie (5). Segundo estudos realizados por Givoni,B. (5) esse índice só fornece respostas satisfatórias quando os indivíduos encontram-se em repouso. Segundo Gonzales (7), esse índice é semelhante ao índice da **Temperatura Efetiva (TE)**, mas não tem aplicação aconselhada para regiões tropicais, uma vez que subestima o efeito da ventilação na sensação de conforto.

A mesma crítica à utilização do índice TR é feita por Koenigsberger,O (6) ao índice proposto por Bedford, na Inglaterra. A formulação desse índice, denominado **Calor Equivalente (CE)** levou em conta resultados de experimentos realizados com 200 operários, submetidos a trabalhos leves.

Conceitualmente semelhante ao índice anterior (CE), desenvolvido em experimentos realizados com pessoas aclimatadas à regiões frias é o índice de **Temperatura Operativa (TO)**, desenvolvido por Wisllow, Herrington e Gagge, nos Estados Unidos (6). Neste caso, Koenigsberger,O (6) afirma que o efeito da umidade relativa e da movimentação do ar durante os experimentos foram subestimadas.

⁴³ Segundo o autor, dependendo do grau de precisão desejado, na determinação de Tn pode ser considerado o valor da temperatura media mensal.

⁴⁴ Este é o índice adotado neste trabalho para definição das condições de conforto para distintas regiões do país. A justificativa para sua escolha encontra-se na sequência do texto. Sua aplicação está descrita no item 4.2.1, deste trabalho.

Dentre os índices do primeiro grupo (empíricos) cabe finalmente citar o **Índice de Conforto Equatorial (ICE)**, proposto por WEBB,C.G., em Cingapura em 1960 (6).

O experimento foi realizado em unidades habitacionais utilizando, segundo Frota,A.,B. e Schiffer, S. R. (1987) (9) uma escala climática desenvolvida especialmente para condições tropicais , tendo incorporado dados referentes ao P4SR (**Previsão da Produção de Suor em 4 horas**) que é um índice desenvolvido por McArdle, do Royal Naval Research Establishment e que foi expresso de forma análoga ao nomograma que determina a **TE**⁴⁵.

Webb sugeriu que o índice poderia ser aplicado à regiões climáticas semelhantes, como, por exemplo **Manaus**. O ICE é um dos índices sugeridos por Frota,A.,B. e Schiffer, S. R. (1987) (9) para ser aplicado às condições climáticas brasileiras. Essas mesmas autoras sugerem também a aplicação da **Carta Bioclimática de Olgay** (4) (comentada abaixo) e o índice de Temperatura Efetiva (**TE**) para identificação dos limites de conforto de usuários brasileiros.

No grupo de índices classificados acima como "teóricos" podem ainda ser citados:

- a. **Índice de Atividade Térmica (IAT)**
- b. **Índice de Tensão Térmica (ITT)**

O **Índice de Atividade Térmica (IAT)** foi proposto por Fanger,P.O. (1972) (10), a partir de estudos realizados na Thechnical University of Denmark.

Levando em conta o resultado de todos os índices já definidos até então, o autor sugeriu um parâmetro (o **IAT**) que avaliasse o grau de afastamento da neutralidade térmica e associou esse parâmetro às respostas de uma centena de usuários relativas à sensação de conforto térmico. Utilizando o **IAT**, Fanger(10) sugeriu a formulação de uma **Equação de Conforto Térmico** que correlaciona "sensação térmica" com a atividade metabólica do corpo humano, sendo que esta última é função da atividade realizada pelo indivíduo.

⁴⁵ Koenigsberger,O (6) não recomenda a aplicação desse índice para temperaturas superiores a 28°C. Destaca também que o efeito de resfriamento do movimento do ar é subestimado para ambientes de umidade relativa elevada.

A citada equação permite avaliar a percentagem de indivíduos "satisfeitos" com cada ambiente térmico.

O método proposto por Fanger(10) para avaliar as condições de conforto térmico de um ambiente, é recomendado pela ANSI/ASHRAE 55-81(47) nos casos em que as condições ambientais e as atividades dos usuários não estão contempladas pelo "New Effective Temperature Index" (TE*).

O IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo (12) também sugere a adoção desse método para avaliação das condições de conforto térmico de ambientes⁴⁶.

Em 1962, Givoni, B. (5) divulgou no Symposium on Environmental Physiology and Psychology in Arid Conditions, realizado na Índia, os resultados dos estudos que levaram à definição do Índice de Tensão Térmica (ITT). O ponto de partida para a definição desse índice foi a análise dos resultados da aplicação dos índices propostos até aquela data, por diferentes autores e distintas abordagens.

Esse índice, o ITT, é, segundo definição do próprio autor, um modelo biofísico que descreve os mecanismos de troca de calor entre o corpo humano e seu entorno.

Esse modelo considera a interação entre as variáveis temperatura e velocidade do ar, pressão de vapor, nível metabólico (associado à atividade realizada), vestimenta e radiação solar. Cabe observar que na definição do ITT não são computados aspectos subjetivos de conforto térmico.

Com base na aplicação do ITT, o autor propôs uma metodologia para indicar, a partir de características climáticas (condições de exposição), os recursos de projeto (ventilação, capacidade térmica, etc) que podem gerar condições de conforto térmico nos ambientes da edificação. Essa metodologia é conhecida como **Carta Bioclimática** e foi divulgada em 1969.

Abordagem semelhante à exposta anteriormente foi dada por OLGYAY, V. (1963)(4) através da formulação do **Diagrama Bioclimático**.

⁴⁶ A publicação citada na referência bibliográfica nº 12 contém listagem de um programa destinado ao cálculo do algoritmo proposto por Fanger.

Históricamente, OLGYAY(4) foi o primeiro autor a propor um tratamento sistemático para correlacionar as exigências humanas de conforto térmico, as características das edificações e as condições de exposição.

Esse Diagrama, que combina valores de temperatura de bulbo seco (eixo das abcissas) e de temperatura bulbo úmido (eixo das ordenadas), propõe uma zona de conforto e indica *recursos*, tais como a necessidade de ventilação, sombreamento e radiação solar que permitem colocar o usuário em situação de conforto térmico.

A crítica à tal metodologia, apontada por Givoni(5), refere-se ao fato que a avaliação permitida pelo Diagrama Bioclimático considera apenas as condições climáticas exteriores, sem levar em conta a resposta térmica que se espera da edificação.

Com base no exposto acima é possível verificar a absoluta falta de consenso na identificação de um índice *universal* para caracterizar as condições de conforto térmico.

Cada um dos índices propostos e descritos anteriormente são adequados para às condições nas quais foram desenvolvidos, sendo que na maioria das vezes sua definição incorpora respostas subjetivas de usuários aclimatados àquelas condições específicas, e que apresentam hábitos alimentares e de vestimentas distintos dos demais países.

Dessa forma, considerando que nenhum estudo foi realizado para as condições brasileiras no sentido de identificar os parâmetros que definem condições de conforto térmico, foi necessário escolher, dentre os já propostos, um índice que se mostrasse o mais adequado à nossa realidade climática e que permitisse atingir os objetivos propostos neste trabalho⁴⁷.

Para efetuar tal escolha, foram adotados os seguintes critérios:

a. preferir os índices *teóricos*, baseados em modelos biofísicos;

b. preferir índices que permitam associar os limites de conforto às

⁴⁷ O índice escolhido deveria permitir a identificação dos limites de conforto em função das características climáticas locais e indicar parâmetros para o desenvolvimento dos projetos das edificações.

atividades realizadas pelos usuários (isto permite ampliar a gama de edifícios que poderão ser avaliados);

c. evitar os índices ajustados em função de respostas subjetivas de grupos de usuários (pois os mesmos estão aclimatados);

d. preferir índices que permitam associar os limites de conforto às condições de exposição;

e. preferir índices associados à metodologias que permitam identificar recursos de projeto em função das condições de exposição (clima);

No conjunto de informações exposto acima (descrição dos índices de conforto) pode-se observar que nenhum dos índices analisados preenche os 5 requisitos fixados para escolha de um deles. Optou-se então pela escolha de dois deles:

a. o índice expresso através da **Temperatura Efetiva Padrão (TEP)**, que permite estabelecer limites de conforto a partir da realidade climática de cada região e considerar as diferentes funções a que se destinam as edificações, e

b. a **Carta Bioclimática** proposta por Givoni (5), que permite identificar, a partir da análise climática local, os parâmetros para o desenvolvimento dos projetos das edificações.

Aparentemente contraditória, uma vez que os dois métodos levam à definição de limites de conforto distintos, a escolha justificou-se pelo exposto a seguir:

a. a **Carta Bioclimática** pode ser usada como instrumento para parametrizar a fase de **concepção do projeto arquitetônico**, fornecendo um quadro do "rigor" climático local, indicando, por exemplo a impossibilidade de se dispensar o condicionamento artificial. (Ver item 3.2.2) ;

b. a **Temperatura Efetiva Padrão (TEP)**, definida para cada cidade, pode ser utilizada na fase de **avaliação do projeto básico**, indicando

se o projeto deve ser alterado ou não. (Ver item 4.2.1)

Além dos **limites de conforto térmico** expressos segundo um dos índices expostos acima, são, em geral, definidas outras exigências de conforto denominadas complementares.

Essas exigências dizem respeito à:

- a. limitação da velocidade do ar no interior dos ambientes;
- b. temperatura superficial do piso;
- c. taxa de renovação do ar ambiente;
- d. limite de tolerância para contaminação do ar interior;
- e. uniformidade da temperatura do ar dentro dos ambientes;
- f. uniformidade da temperatura radiante (associada à temperatura da superfície interna dos componentes horizontais e verticais).

A adoção de parte ou totalidade dessas exigências, varia de país para país. No entanto, o aspecto comum entre todos os países é que a formulação dessas exigências vem sempre associada ao condicionamento artificial dos ambientes e na grande maioria dos casos destinam-se particularmente aos aspectos de aquecimento artificial.

Na bibliografia consultada não foi possível identificar nenhuma documentação oficial normativa ou regulamentadora (ou de simples orientação) que contemplasse os casos onde o condicionamento artificial pode ser dispensado. Existem, em vários países, grupos vinculados às universidades e/ou instituições de pesquisas que elaboram e **divulgam estudos** contendo recomendações destinadas a otimizar o desempenho de sistemas passivos (condicionamento natural).

Para efeito deste trabalho, considerando os objetivos propostos, além da adoção do índice de conforto determinado através da TEP (justificado acima) foi adotada a seguinte exigência de conforto complementar:

- **limitação da temperatura superficial interna dos componentes horizontais e verticais** (ver 4.2.1), com dois objetivos:

- a. limitar no ambiente a presença de superfícies irradiantes,
- b. evitar o risco de condensação superficial na superfície interna dos componentes horizontais e verticais .

Nota: Neste último critério está contemplado o aspecto de durabilidade dos componentes.

4.1.2 Critérios para Avaliação do Desempenho Térmico

De um modo geral, apesar de apresentarem variações de país para país, os critérios para avaliação do desempenho térmico das edificações tem sido formulados através da fixação de parâmetros que determinam o grau de **isolamento térmico dos componentes construtivos e da envoltória como um todo.**

Isso ocorre, particularmente, porque tais países apresentam períodos de inverno rigoroso e o aquecimento artificial não pode ser dispensado.

Os países que tratam, no escopo da Norma, dos aspectos de **resfriamento** das edificações, como é o caso da Norma espanhola: NBE-CT-79 (Condiciones Térmicas en los Edificios), em geral o fazem através da limitação do ganho de calor pela envoltória.

Cabe ressaltar que os valores indicados em tais Normas tem caráter de **recomendação** e aplicam-se a edificações com potencia total instalada de refrigeração acima de 50kW (caso da Norma espanhola) ou com consumo superior a 10.8W/m² (caso da Norma americana ASHRAE-Standard 90-75). Não se destinam portanto a edificações que podem dispensar o condicionamento artificial.

A fixação dos limites do isolamento mínimo (resistência térmica dos componentes) é geralmente feita em função de um zoneamento climático do país, proposto com base no cálculo de GRAUS-DIA (que expressa a somatória das diferenças entre temperatura do ar exterior abaixo de 18°C e o limite mínimo aceitável para a temperatura do ar, em geral 18°C ou uma temperatura de base estabelecida por Norma).

Dentre as iniciativas de produzir documentação voltada a estabelecimento de critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações e que não se destinaram especificamente aos ambientes condicionadas, pode-se destacar publicação da UEATc- Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la

Construction, Paris, 1974 (14). Esse documento, destinado a orientar a homologação de fachadas leves relacionou critérios que limitavam não só a transmissão térmica dos componentes (no caso, fachadas), como valores máximos de proteção solar para os vãos envidraçados, estabelecidos em função das condições climáticas, inércia térmica da construção e das condições de ventilação.

Esse documento estabelecia também como critério, valores limites para o fator de temperatura superficial, visando evitar os riscos de condensação superficial nos componentes.

Anteriormente, segundo Gomes, R. J. (15) em 1965, a UEATc divulgou documento semelhante àquele citado no parágrafo anterior, destinado às construções leves, onde foram identificadas zonas climáticas de verão e de inverno para a Europa (com indicação dos valores de cálculo da temperatura do ar exterior) e para as quais foram estabelecidas recomendações quanto:

- a. ao emprego de condicionamento (aquecimento e resfriamento) artificial;
- b. a proteção solar dos vãos envidraçados;
- c. valores máximos de transmitância térmica de coberturas, em função da inércia térmica da construção;
- d. ao fator de temperatura superficial (risco de condensação);
- e. valores máximos do coeficiente global de perdas térmicas.

A partir da década de 70, motivada pela crise do petróleo e pelas facilidades introduzidas pela disseminação dos recursos da informática, a tendência na formulação dos instrumentos de cálculo (para avaliação do desempenho térmico das edificações) passou a ser marcada pelo desenvolvimento de softwares que permitem a realização de cálculos mais precisos.

No entanto, essa nova dinâmica não foi incorporada na normalização e legislação de praticamente nenhum país: a formulação dos critérios para avaliação do desempenho das edificações continuou sendo prescritiva (fixação de parâmetros

como transmissão térmica dos componentes construtivos) e não transferiu a responsabilidade de demonstrar a eficiência de seus projetos aos projetistas.

Segundo a IEA- International Energy Agency, em Source Book for Energy Auditors (1987)(16), a fixação da transmissão térmica para componentes construtivos consta da documentação normativa dos seguintes países:

- Canada(1978)
- Dinamarca(1979)
- Noruega(1980)
- Suíça (1980)
- Suécia(1980)
- Inglaterra(1982)
- Estados Unidos(1980)

Alguns desses países fixam também a percentagem máxima para área dos vãos envidraçados (em relação a área total da fachada).

Alguns países, no entanto, avançaram no sentido de estabelecer parâmetros que não são prescritivos para os componentes em si, mas consideram o edifício como um todo, e estabelecem limites para o Coeficiente Global de Perdas Térmicas. Este é o caso da Lei Italiana (Decreto de 23 de novembro de 1982), "**Direttive per il contenimento del consumo di energia relativo alla termoventilazione ed alla climatizzazione di edifici industriali ed artigianali**", que a partir do estabelecimento de parâmetros climáticos⁴⁸ define os valores máximos e mínimos do Coeficiente Global de Perdas Térmicas. Nesse caso o dimensionamento dos vãos envidraçados e a definição dos componentes fica a cargo dos projetistas.

Observar que toda formulação de critérios mencionada acima destina-se às edificações condicionadas artificialmente, mesmo nos países em que as características climáticas permitem que o condicionamento seja dispensado durante alguns meses no ano. Ou seja, no conjunto de publicações consultado, **não existem dispositivos normativos que orientem o projetista no sentido de otimizar o desempenho térmico das edificações, particularmente nos casos em que**

⁴⁸ Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici globali di dispersione termica. Decreto de março de 1977.

as características climáticas permitem que recursos de projeto viabilizem condições de conforto para os usuários sem a utilização de condicionamento artificial (ou com uso reduzido ao mínimo durante o ano).

Dessa forma, dado o exposto anteriormente, para efeito deste trabalho optou-se por adotar critérios não prescritivos, mas de desempenho, onde o projetista possa ir introduzindo alterações no projeto básico até que o desempenho possa ser considerado satisfatório.

Evidentemente, em algumas regiões climáticas o condicionamento climático não pode ser dispensado. Nesses casos, de posse antecipada dessa informação (obtida no Diagnóstico Climático), o projetista poderá otimizar o projeto arquitetônico, visando minimizar o consumo de energia para o condicionamento artificial.

Assim, optou-se por adotar dois critérios para avaliação do desempenho térmico e que devem ser aplicados quando o projeto básico já está definido. Esses critérios são:

- a. limitação da temperatura do ar interior dos ambientes da edificação (definido em função das características climáticas regionais) (Ver item 4.2.1)
- b. limitação da temperatura superficial da face interna dos componentes verticais e horizontais.

O critério citado em **a** refere-se à temperatura de conforto (verão e inverno), comentada no item 4.1.1.

O critério citado em **b** busca garantir não só a exigência de conforto que se refere à presença de superfícies aquecidas (irradiantes) como evitar o risco de condensação superficial nos períodos de inverno.

Observar que os critérios mencionados não se destinam à avaliação de edificações **condicionadas artificialmente**. A verificação dos critérios permitirá ao projetista identificar se o desempenho da edificação será satisfatório ou não. Em

caso negativo (desempenho não satisfatório), o projetista poderá optar por:

a. introduzir modificações no projeto até que o mesmo passe a ter desempenho satisfatório, ou

b. assumir que o condicionamento artificial será utilizado. Neste caso deverá estimar o consumo de energia elétrica necessário ao condicionamento, conforme procedimento indicado no item 5.2.

4.1.3 Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação, ainda na fase do projeto, pode ser realizada com distintos graus de precisão, determinados pelo método de cálculo que são utilizados.

De um modo geral, os métodos de cálculo disponíveis para prever a variação da temperatura do ar interior em um ambiente da edificação podem ser classificados em dois grandes grupos:

- a. os que consideram a transmissão de calor em regime permanente;
- b. os que consideram a transmissão de calor em regime variável e periódico, ou seja, computam a parcela de calor armazenada pelos componentes.

Segundo Akutsu, M. (17), os métodos de cálculo agrupados em a (regime permanente), foram largamente empregados no início dos anos 60 para determinação das trocas de calor que se processam entre ambientes condicionados e o meio exterior.

Posteriormente, as facilidades introduzidas pela informática permitiram que os cálculos pudessem ser mais precisos, na medida que passaram a considerar toda a complexidade do processo de trocas térmicas que ocorrem nos vários componentes das edificações.

Cabe aqui ressaltar que o cálculo simplificado, ainda é largamente utilizado na determinação da carga térmica de aquecimento dos ambientes e produz resultados satisfatórios, segundo Akutsu, M. (17), nos casos onde a temperatura do ar exterior apresenta oscilação pequena quando comparada com a diferença entre seu valor médio e o valor fixado para a temperatura do ar interior. Esta situação ocorre em várias localidades do hemisfério norte, no inverno. A autora destaca, ainda que o mesmo procedimento de cálculo não deve ser utilizado para cálculo das cargas de resfriamento, pois os resultados não são precisos.

A inadequação dos métodos de cálculo que consideram o regime permanente é

ma mais significativa quando os ambientes não são condicionados artificialmente, ou seja, quando a temperatura do ar interior também é variável. Portanto, avaliar o

desempenho térmico de uma edificação localizada em região climática que *permite* dispensar o condicionamento artificial implica em adotar procedimentos de cálculo não simplificados.

Ironicamente, são exatamente os países da faixa tropical, incluídos no chamado "terceiro mundo", que demandam métodos e técnicas elaborados, que permitam racionalizar soluções construtivas e promover economia de energia elétrica. Acrescente-se à esse quadro o fato que o custo associado aos mecanismos de resfriamento das edificações são superiores aos custos de aquecimento das mesmas. Ou seja, é mais caro resfriar do que aquecer.

Por outro lado, mesmo dentre os modelos de cálculo (softwares) que vem sendo desenvolvidos nos últimos anos (o número de modelos propostos até 1986 ultrapassava 200) e que são destinados à avaliação de desempenho térmico das edificações, existe uma ampla (e internacional) discussão quanto à utilização de cada um deles, já que utilizam diferentes algoritmos, respondem com diferentes graus de precisão, introduzem simplificações de ordens distintas, utilizam escalas temporais variadas, e, mais importante, apresentam respostas que dependem do usuário do programa (modo como são introduzidos os dados de entrada).

Constatada tal divergência, entre os pesquisadores internacionais (principalmente da Europa e Estados Unidos) surgiu, em 1984, a idéia da criação do projeto ALMETH, sediado na AFME - Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, com o objetivo de:

- a. fazer um levantamento dos modelos existentes;
- b. identificar a formulação básica dos modelos;
- c. identificar cada modelo com uma ficha de caracterização denominada **PROFORMA**⁴⁹

⁴⁹Dentre as informações solicitadas na ficha, constavam: nome genérico do programa, resumo, tratamento aproximado ou detalhado), tipo (equação, dados, lógica), validação (analítica, numérica ou experimental) e informações gerais.

O andamento desse projeto foi apresentado em 1986 no Congresso Internacional "Building Energy Management", por Clément, D. et alli.(18).

Nota: Durante a elaboração do presente trabalho não foi possível identificar publicação contendo os resultados desse projeto.

No Brasil, são poucos os programas de cálculo utilizados pelos pesquisadores. Entre eles estão o programa **NBSLD- National Bureau of Standards Load Determination** desenvolvido pelo National Bureau of Standards/Thermal engineering Section (E.E.U.A) e que tem sido modificado e adaptado por pesquisadores do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo.

O programa referido acima permite quatro opções de processamento:

- a. para ambiente não condicionado artificialmente;
- b. ambiente condicionado artificialmente com temperatura do ar interior constante;
- c. ambiente condicionado artificialmente com limites de temperatura do ar interior pré-fixados;
- d. ambiente condicionado artificialmente com pré- fixação da temperatura do ar interior e das cargas térmicas do sistema de condicionamento artificial.

Segundo os pesquisadores do IPT, os resultados obtidos com esse programa é bastante satisfatório. O inconveniente que existe para sua utilização é que o número de interações é muito elevado e necessita de computadores de grande porte. A complexidade da entrada dos dados também exige que os usuários sejam treinados.

Outro programa, utilizado na UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi proposto por Sattler, A. M.(1986)(19), com base no método **Admittance**, desenvolvido pelo BRE- Building Research Establishment. O programa destina-se aos edifícios não condicionados artificialmente.

Esse último programa, apesar de aplicação mais acessível (computadores de

pequeno porte), não tem sua listagem divulgada. A publicação "A computer program for the thermal design of unconditioned buildings"(19) divulgou somente os algoritmos de cálculo. Não é de aplicação imediata para os projetistas.

Os mesmos algoritmos de cálculo (método Admittance) serviram de base para o trabalho desenvolvido por Seroa da Motta, A.L.T. da UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro (1985), em tese de Ph. D. na University College London (20). Esse programa também não está divulgado.

Reconhecendo a complexidade do assunto, e a dificuldade na aplicação dos modelos matemáticos, Roriz, M. (1989)(21) desenvolveu o ARQUITROP, software que objetiva, segundo o autor, "... simular o desempenho térmico das edificações, verificar sua adequação climática, visando otimizar o conforto ambiental e a economia de energia elétrica". Esse programa vem sendo divulgado pelo autor, e está disponível em disquetes para utilização em microcomputador compatível com a linha PC-IBM.

Os instrumentos de avaliação (programas) apresentados nos parágrafos anteriores estão disponíveis para uso em computadores de pequeno e/ou grande porte, o que implica que, para utilizá-los, o projetista disponha desse meio.

Para efeito do presente trabalho, considerando que o objetivo do mesmo é a formulação de um conjunto de procedimentos que possa orientar o projetista desde a fase da concepção até a fase do detalhamento do projeto executivo, e que tais procedimentos contemplem tanto os aspectos do desempenho térmico como do desempenho luminoso (associados à economia de energia elétrica), optou-se pela adoção de um método de cálculo para avaliar o desempenho térmico que apresenta-se as seguintes características:

- a. considerasse os efeitos da capacidade térmica da edificação (regime variável);
- b. permitisse obter resultados que, quando comparados à resultados obtidos com programas já testados, apresentasse coeficiente de correlação não inferior a 0.9;
- c. envolvesse um número de operações que não inviabiliza-se sua aplicação

quando não se dispõe de recursos computacionais;

d. permitisse ao projetista analisar as principais alternativas⁵⁰ de projeto para otimizar o desempenho térmico da edificação.

Na busca de tal método de avaliação foram analisados as seguintes propostas:

a. método proposto por Milbank, N. O. e Harrington-Lynn, J. (1974)(22) e publicado sob o título "Thermal Response and Admittance Procedure" ;

b. método proposto por Sattler, M.A. (1986)(19), que se baseia no algoritmo de cálculo desenvolvido pelo autor citado em a;

c. método proposto por Wentzel, J.D. e Van Straaten J.F. (1981)(23), publicado sob o título "The Prediction of the Thermal Performance of Buildings by a Simplified Empirical Procedure";

d. método proposto por Carneiro, C.(1991)(24), adaptado com base no método proposto pelo autor citado em c e testado a partir de resultados obtidos com a aplicação do programa NBSLD;

e. método proposto por Matthews, E.H. e Joubert, P.H. (1986)(25) e divulgado sob o título "Minimising Energy Consumption in Passive Buildings by Appropriate Design".

Os métodos propostos em a e b exigem um número excessivo de interações matemáticas para caracterização da resposta térmica dos componentes construtivos e dessa forma não se mostrou adequado aos objetivos do trabalho. Ressalte-se que, como recurso para avaliar o desempenho térmico de edificações, esses métodos são recomendáveis.

O método proposto por Wentzel e Van Straaten(1981) (23) (empírico), desenvolvido com base em resultados de testes realizados no **National Building**

⁵⁰ As principais alternativas de projeto são: dimensão das aberturas, condições de ventilação, proteção solar, características dos vidros, características térmicas dos componentes, uso dos revestimentos internos e efeito das cores nas superfícies externas dos componentes.

Research Institute (Pretória-Africa do Sul), permite a determinação da temperatura do ar interior dos ambientes a partir das condições climáticas exteriores, considerando as características termo- físicas dos componentes.

As críticas que poderiam ser colocadas ao método referem-se à :

a. previsão da temperatura média no interior da edificação: o autor propõe um acréscimo de 2°C na temperatura do ar exterior, para as condições de verão, sem considerar, por exemplo, o efeito das cores das superfícies externas;

b. não inclusão da variável ventilação (o método cita que as condições de ventilação são normais e adequadas)

Nota: A ausência desta variável impede que o projetista "teste" modificações nas condições de ventilação

Deste método foi utilizado o procedimento para determinar a capacidade térmica da edificação.

O método proposto por Carneiro,C (1991)(24) permite estimar o valor da temperatura do ar interior de um ambiente (máxima e mínima) a partir da determinação da capacidade térmica da edificação calculada pelo método proposto por Van Straaten e fazendo correções no cálculo da temperatura média do ar interior a partir de considerações da radiação solar local e da cor da superfície externa dos componentes. Os resultados obtidos, segundo a autora, foram comparados a resultados obtidos pelo programa NBSLD e mostraram um coeficiente de correlação de 0.93.

A única inconveniência na utilização desse último método está no fato que o mesmo não considera a variável ventilação. No entanto, é um método que permite a realização dos cálculos sem a obrigatoriedade do uso de recursos computacionais. Evidentemente esse recurso facilita e agiliza a aplicação do método.

Desse último método, o procedimento de cálculo proposto neste trabalho utilizou o algoritmo proposto para correção da temperatura média do ar interior da edificação.

Finalmente, do método proposto por Matthews e Joubert (25), foi utilizado o algoritmo que permite a determinação da temperatura do ar interior a partir da determinação da **constante de tempo** da edificação e que é função da capacidade térmica da mesma. O método proposto por esses autores não permitiu sua utilização integral porque:

- a. não inclui a variável ventilação (essa variável está contida na constante "263" adotada a partir de resultados experimentais);
- b. da mesma forma que Van Straaten(23), a correção da temperatura média do ar interior é feita através do acréscimo de 2°C na temperatura média do ar exterior (verão), qualquer que seja a orientação das aberturas e a cor das superfícies.

Dado o exposto acima, foi necessário elaborar um **novo procedimento** de cálculo que permitisse atingir os objetivos propostos neste trabalho.

Esse procedimento, descrito no item 4.2.2, foi testado com base nos resultados obtidos por Carneiro, C (24) que utilizou o programa NBSLD para validar a aplicação do seu modelo.

No gráfico abaixo estão indicados os valores da temperatura do ar interior estimados pelo programa NBSLD e os resultados obtidos com a aplicação do procedimento proposto pela autora do presente trabalho.

Os protótipos utilizados para efeito dos cálculos da temperatura máxima e mínima do ar interior foram os mesmos utilizados por Carneiro, C., para condições típicas do Recife. Tais protótipos apresentam a mesma solução em planta, mas utilizam sistemas construtivos distintos, o que permitiu avaliar 4(quatro) capacidades térmicas distintas.

Para melhor avaliar os resultados obtidos foram utilizadas situações típicas de verão e de inverno.

Nos gráficos da Figura 40, observar:

a. a maior diferença entre a temperatura interior estimada com o programa NBSLD e com o procedimento aqui proposto é inferior a 1°C O valor máximo encontrado foi 0.8°C) ;

b. o fator de correlação observado entre os dois conjuntos de medidas é de 0.93;

c. o resultado obtido com o procedimento proposto no presente trabalho é satisfatório.

Nota: Para a análise comparativa demonstrada nos gráficos abaixo, foram desenvolvidos dois programas utilizando EXCEL 1.5 para MacIntosh: o primeiro utilizando a metodologia proposta por Carneiro,C. e o segundo utilizando o

procedimento proposto pela autora deste trabalho.

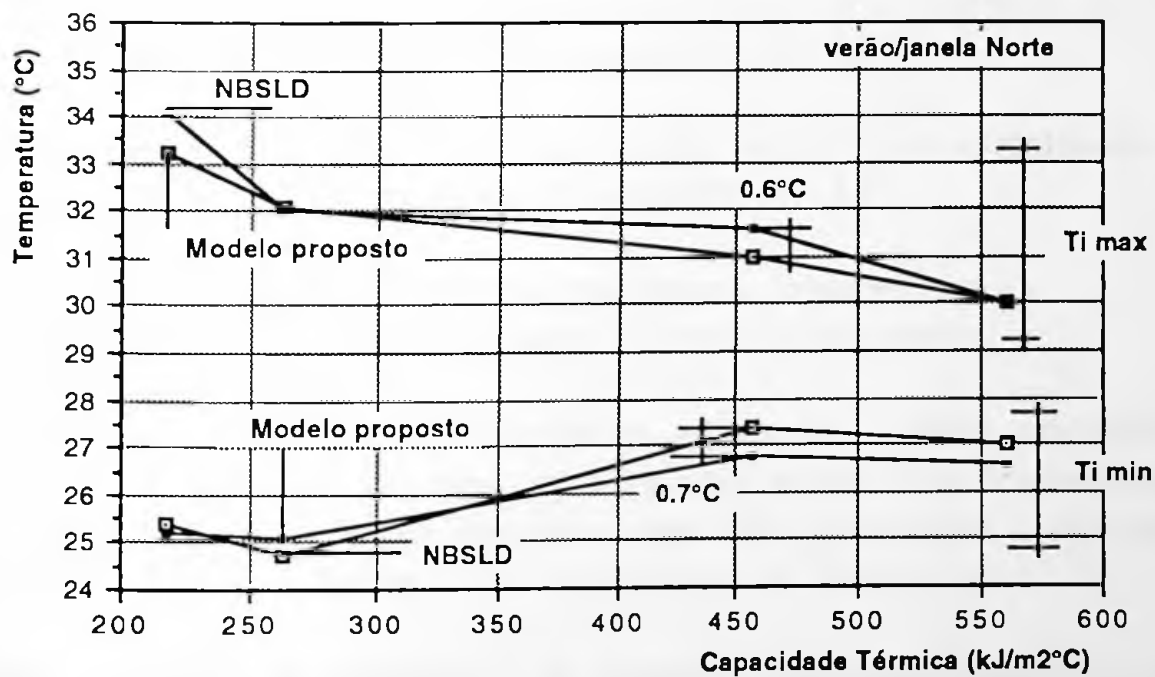
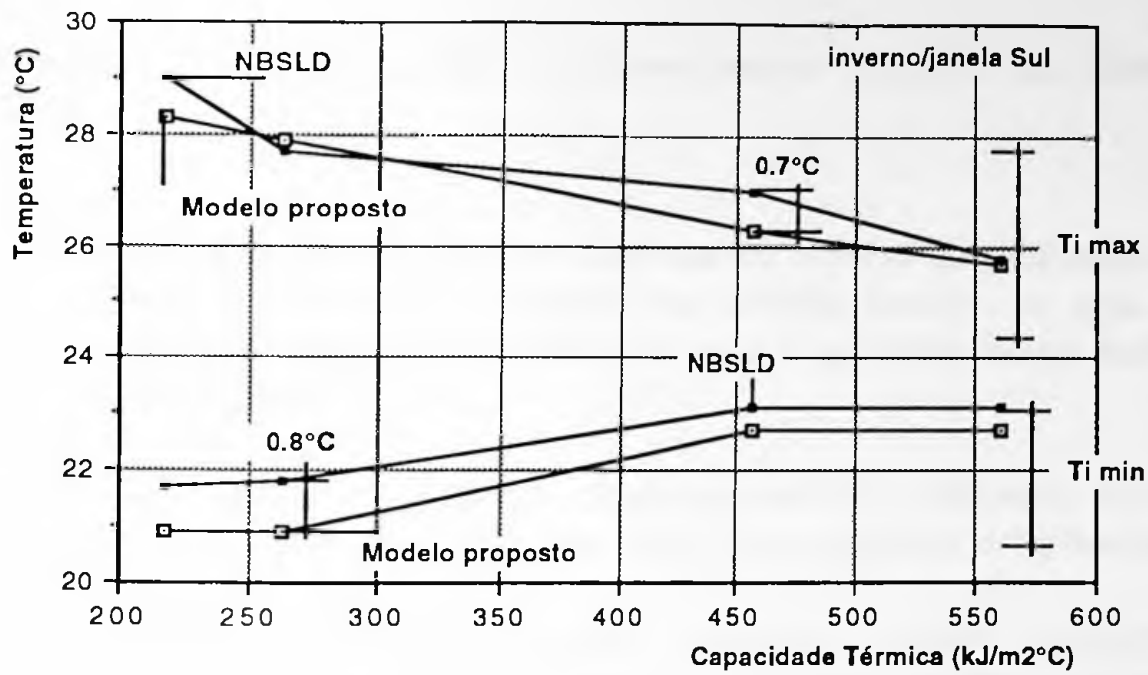


Figura 40: Resultados obtidos com aplicação do modelo proposto pelo NBSLD e com modelo proposto pela autora, para estimativa da temperatura do ar interior de edificações.

4.2 Procedimentos para Avaliar o Desempenho Térmico da Edificação (PDT)

Os procedimentos para avaliar o desempenho térmico da edificação devem ser aplicados quando o projetista já dispõe do projeto básico, ou seja, na fase em que as principais decisões já foram tomadas mas o projetista ainda está disposto a introduzir modificações.

Ao iniciar o processo da avaliação do desempenho da edificação ainda na fase do projeto básico, o projetista já estará de posse das seguintes informações:

- a. o resultado do Diagnóstico Climático (obtido conforme procedimento descrito em 3.2) que já o informou quanto a possibilidade de dispensar o condicionamento artificial ou não e em quais meses do ano ;
- b. a variação horária da temperatura do ar e da umidade do ar, mes a mes (obtida conforme procedimento descrito em 3.2);
- c. os valores medios da radiação solar para 8 (oito) orientações, mes a mes (obtida conforme procedimento descrito em 3.2);
- d. as características básicas do projeto arquitetônico: orientação, dimensões, materiais, cores, acabamentos.

A avaliação do desempenho térmico da edificação, a partir das informações listadas acima, deve então ser feita em 4 (quatro) etapas que correspondem à aplicação de aos procedimentos descritos neste item e recebem a denominação de PDT1, PDT2 , PDT3 e PDT4. (Ver fluxograma da Figura 2)

Etapa 1: Definir as condições de conforto térmico típicas da região (PDT1) (procedimento descrito abaixo em 4.2.1);

Etapa 2: Estimar os valores da temperatura (máxima e mínima) do ar do interior dos ambientes, para os meses do ano que permitem dispensar o condicionamento artificial (PDT2) (procedimento descrito abaixo em 4.2.2);

Etapa 3: Comparar os valores obtidos na **Etapa 2** com os limites de conforto estabelecidos na **Etapa 1**; se necessário introduzir modificações no projeto básico ou assumir que a edificação será condicionada artificialmente (**PDT3**) (neste caso, aplicar o procedimento descrito em 5.2);

Nota: Esta Etapa deve ser, necessariamente, seguida da Etapa 4, mesmo que o projetista opte pelo condicionamento artificial permanente..

Etapa 4: Estimar os valores da **temperatura superficial** dos componentes externos (paredes e cobertura), segundo procedimento descrito em 4.2.1; se necessário introduzir modificações nos componentes (**PDT4**);

Essas quatro Etapas serão seguidas das Etapas de estimativa do consumo de energia elétrica para o condicionamento artificial:.

Etapa 5: Estimar o consumo total de energia elétrica para condicionamento artificial do ambiente (Ver item 5.2)

A seguir estão descritos os procedimentos **PDT1**, **PDT2**, **PDT3** e **PDT4** citados nas **Etapas 1 a 4**.

4.2.1 Determinação das Condições de Conforto Térmico (PDT1)

Objetivo:

Definição das condições de conforto térmico em função das características climáticas regionais. Essas condições de conforto devem ser expressas em função da Temperatura de Neutralidade Térmica (Tn).

Dados necessários:

1. Identificação dos meses que podem dispensar o condicionamento artificial (esta informação foi obtida em 3.2, Procedimento PDC1);
2. Variação mensal da temperatura do ar (máxima e mínima), para os meses identificados no item anterior (Ver Figura 10);
3. Variação mensal da umidade do ar (máxima e mínima), para os meses identificados no item 1 (Ver Figura 12).

Procedimentos⁵¹

A. Identificação da Temperatura de Neutralidade Térmica (Tn)

A Tn deve ser calculada, utilizando a seguinte equação:

$$T_n = TMA \cdot 0.31 + 17.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{Eq. 39})$$

sendo,

TMA = média aritmética entre a maior e a menor temperatura que ocorre no ano (consultar exemplo que segue). A Tn deverá estar entre 18.5°C e 28.5°C.

Para a determinação da Tn, observar:

- a. a Equação 39 é válida para indivíduos em atividade sedentária (140W, roupas leves);

⁵¹ Cada um dos procedimentos tem sua aplicação exemplificada com dados típicos da cidade de Recife.

- b. Para outras atividades adotar as seguintes correções (21):
- | | |
|---------------------------------|---|
| trabalho leve.....(210W)..... | $T_n = T_n - 2.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| trabalho médio.....(300W)..... | $T_n = T_n - 4.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| trabalho pesado.....(400W)..... | $T_n = T_n - 7.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ |

Observar, a título de exemplo a determinação de TMA na Figura 41

Recife		
Lat: 8°8'	Long: 34°55' Alt: 11m	

MESES	T max	T min
JANEIRO	30.2	22.8
FEVEREIRO	29.9	23
MARÇO	30.0	22.9
ABRIL	29.6	22.6
MAIO	28.8	22.2
JUNHO	28.2	21.4
JULHO	27.4	20.7
AGOSTO	27.7	20.7
SETEMBRO	28.3	21
OUTUBRO	29.0	21.6
NOVEMBRO	29.6	22
DEZEMBRO	30.1	22.6

$TMA = (30.2 + 20.7) / 2 = 25.4$
Fonte: IBGE Período: 1981a 1985 (1)

Figura 41: Determinação da TMA em função das temperaturas máximas e mínimas mensais, em Recife

No caso da cidade de Recife, a Temperatura de Neutralidade Térmica (T_n), em edificações destinadas às atividades sedentárias, será:

$$T_n = (0.31 * 25.4) + 17.6 = 25.5^\circ\text{C}$$

B. Determinação dos Limites de Conforto⁵² (Ls e Li)

Para a determinação dos Limites de Conforto (Ls e Li) deve-se identificar a faixa de tolerância para Tn, fazendo:

$$Ls = Tn + 2 \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (Eq 40) e } Li = Tn - 2 \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (Eq 41)}$$

sendo Ls o limite superior da temperatura de conforto e Li o limite inferior da temperatura de conforto.

No caso de Recife, os limites de conforto serão:

$$Ls = 25.5 + 2 \text{ (}^\circ\text{C)} = 27.5^\circ\text{C}$$

$$Li = 25.5 - 2 \text{ (}^\circ\text{C)} = 23.5^\circ\text{C}$$

onde 25.5°C é a Tn (Temperatura Neutra), calculada acima.

Observar que os valores limites de temperatura para avaliação do desempenho térmico do projeto, no caso de Recife, serão:

$$T_{\text{max}} = 27.5^\circ\text{C e}$$

$$T_{\text{min}} = 23.5^\circ\text{C}$$

C Determinação da Zona de Conforto a partir dos limites de conforto (Ls e Li)

Sobre uma carta psicrométrica adequada à região climática⁵³, associar os valores limites da temperatura de conforto (Ls e Li) à curva de umidade relativa de 50%. (Ver exemplo de aplicação abaixo).

Os pontos A e B no gráfico da Figura 42 (exemplo para a cidade de Recife), correspondem à Li e Ls e os pontos E e F correspondem aos pontos calculados a partir das seguintes expressões:

⁵² A definição dos limites de conforto são calculados conforme o índice de Temperatura Efetiva Padrão, comentado no item 4.1.1 deste trabalho.

⁵⁴ A carta psicrométrica deve ser construída considerando-se a pressão atmosférica local. O algoritmo para construção da carta psicrométrica é o seguinte:
 $P_v = (P_{\text{atm}} \cdot x) / (622 + x)$, onde P_v é a pressão parcial de vapor d'água (mmHg), função do conteúdo de umidade do ar, P_{atm} é a pressão atmosférica local (mmHg) e x é a massa d'água presente no ar (g/kg ar seco).

$$T_E = L_i + 9.5 \cdot (0.025 \cdot (L_i - 14)) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{Eq 42})$$

$$T_F = L_s + 12 \cdot (0.025 \cdot (L_s - 14)) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{Eq 43})$$

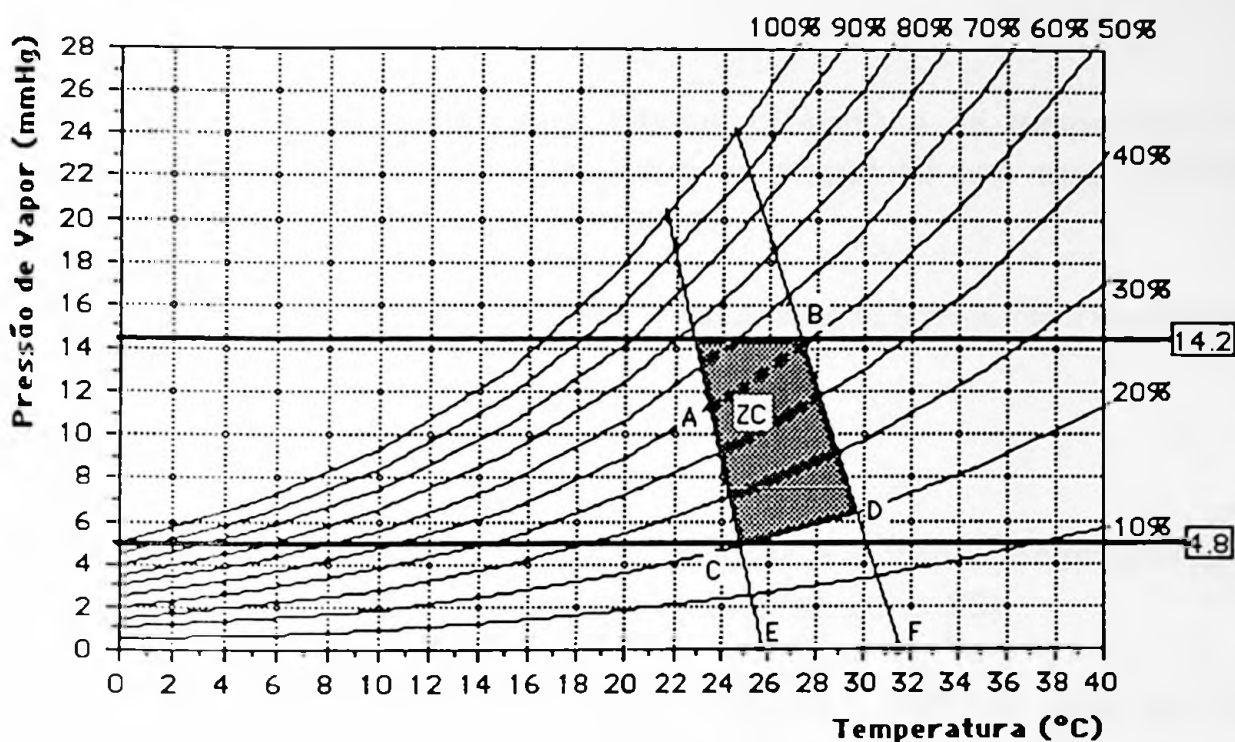


Figura 42: Identificação dos limites de conforto sobre carta psicrométrica para Recife.

A área achurada, marcada com **ZC** (Zona de Conforto) fica definida com pelas retas que contém os pontos **A, E** e **B, F**, e pelos limites de pressão de vapor **14.2 mmHg** e **4.8 mmHg**.

Observar que a definição da Zona de Conforto pode dar subsídios para a definição das temperaturas de conforto quando são utilizados recursos de **condicionamento artificial**. Estes seriam limites adequados para a região de **Recife**.

Esta metodologia poderia ser utilizada para definir limites de temperatura para dimensionamento do sistema de condicionamento artificial, e, **futuramente** poderia ser utilizada na **revisão da NBR 6401**.

4.2.2 Cálculo da Temperatura do Ar Interior(PDT2)

Objetivo:

Estimar os valores da temperatura máxima (T_{max}) e da temperatura mínima (T_{min}) do ar do interior dos ambientes, para os meses do ano que permitem dispensar o condicionamento artificial.

Nota: Os meses do ano que permitem dispensar o condicionamento artificial foram identificados no Procedimento PDC2, item 3.2.2.

Dados necessários:

1. Identificação dos meses que podem dispensar o condicionamento artificial (esta informação foi obtida em 3.2.2)(Ver Figuras 33 e 36);
2. Variação mensal da temperatura do ar (máxima e mínima), para os meses identificados no item anterior (Ver Figura 10);
3. Variação mensal da radiação solar, para os meses identificados no item anterior(Ver Figura 18);
4. Valores aceitáveis para a temperatura máxima e mínima (condições de conforto térmico), identificadas no Procedimento PDT1, item 4.2.1;
5. Dados relativos ao projeto básico que vai ser avaliado.
6. Dados relativos às características térmicas dos materiais e componentes construtivos.

Procedimentos

A Estimativa da Temperatura do Ar Interior

A estimativa da Temperatura do Ar Interior Máxima (T_{max}) e Mínima

(T_{min}), para todos os meses que dispensam condicionamento artificial, devem ser através dos seguintes algoritmos:

$$T_{max} = T_{med} + C_{rad} + C_{alf} + (A_i/2) \quad (\text{Eq 44})$$

$$T_{min} = T_{med} + C_{rad} + C_{alf} - (A_i/2) \quad (\text{Eq 45})$$

sendo:

T_{med} = temperatura média mensal (ver Figura 45)

C_{rad} = acréscimo no valor da temperatura média exterior, devido ao ganho de radiação solar nas superfícies exteriores dos componentes verticais, calculado através da Equação 46 para os meses de verão⁵⁴ e da Equação 47 para os meses de inverno,

$$C_{rad} = 0.32 * (\sum(alf * R_g/20)) + 0.5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 46}) \quad (\text{verão})$$

$$C_{rad} = 0.37 * (\sum(alf * R_g/20)) - 0.026 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 47}) \quad (\text{inverno})$$

sendo,

alf = coeficiente de absorção à radiação solar (função da cor externa do componente) (Ver Quadro da Figura B.2, no Anexo B). Devem ser considerados todos os componentes verticais externos.

R_g = valor médio diário da radiação solar (Ver Quadro da Figura 46). Devem ser considerados os valores da radiação solar correspondentes à orientação dos componentes externos.

C_{alf} = acréscimo no valor da temperatura média exterior, devido à transmissão da radiação solar pelas aberturas (envidraçadas ou não) e à cor utilizada nas superfícies exteriores dos componentes verticais, calculado conforme equação 48, para os meses de verão, e conforme Equação 49, para os meses de inverno.

$$C_{alf} = K_v * (R_e * \sum(R_g * F_S * A_v/A_p)) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 48}) \quad (\text{verão})$$

$$C_{alf} = K_i * (R_e * \sum(R_g * F_S * A_v/A_p)) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 49}) \quad (\text{inverno})$$

sendo,

K_v e K_i = variáveis que dependem da cor das superfícies exteriores e da orientação das vedações verticais, para condições de verão e de inverno (devem ser extraídas dos gráficos das Figuras 43 e 44)⁵⁵

⁵⁴ São considerados de verão os meses cujo ângulo de altura solar é superior a 70°, às 12 horas. Essa condição não foi proposta anteriormente por nenhum autor mas pode ser deduzida dos resultados apresentados por Mathews(25), Carneiro(24) e Van straaten (23).

⁵⁵ O gráfico que indica o valor de K foi proposto por Carneiro, C. (24)

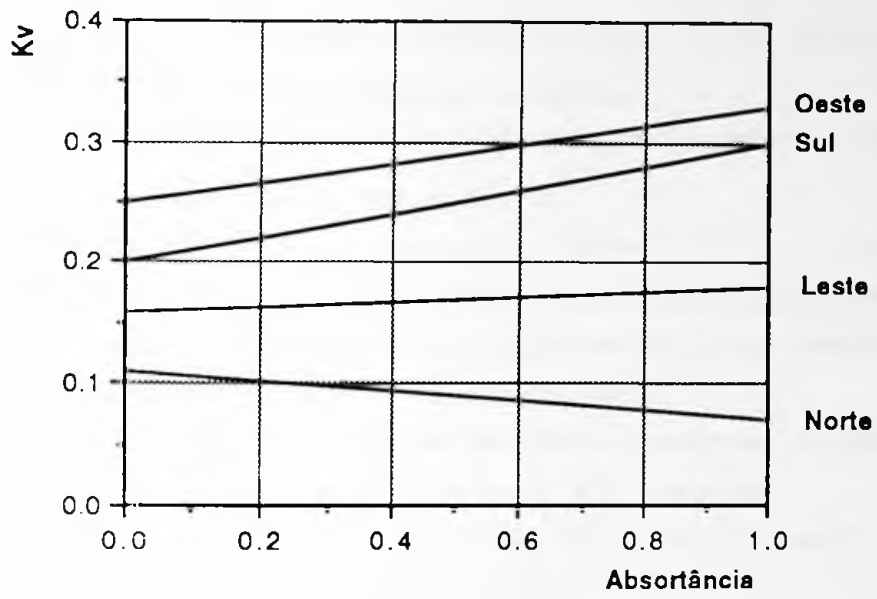


Figura 43: Gráfico para determinação de Kv (Ver Equação 48)

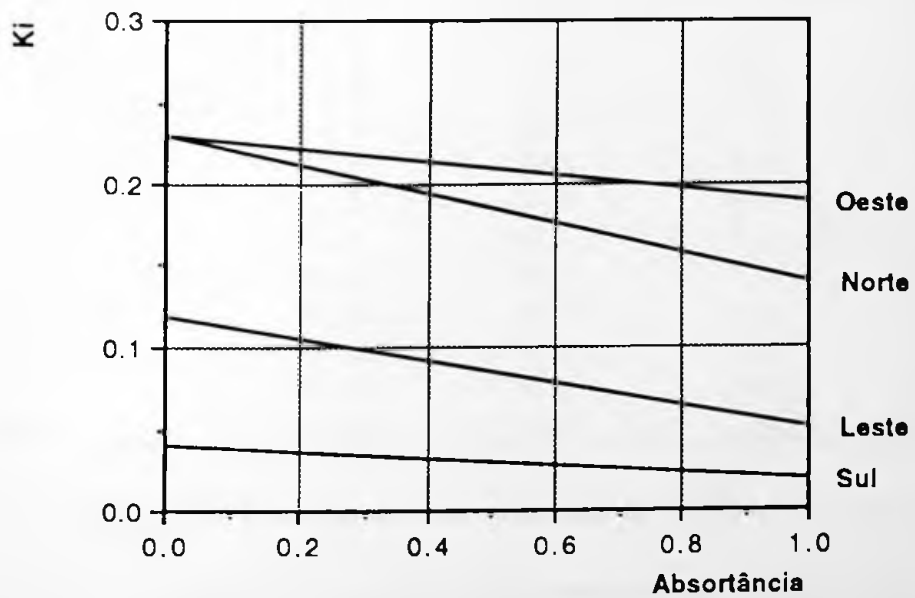


Figura 44: Gráfico para determinação de Ki (Ver Equação 49)

Re= resistência térmica da envotória , calculada conforme o seguinte algoritmo:

$$Re = (\Sigma A) / (A_1 U_1 + A_2 U_2 + A_3 U_3 + \dots + A_n U_n) \text{ (m}^2 \text{°C/W) (Eq 50)}$$

sendo,

ΣA = área total da envolvente, soma de $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, que corresponde à área das paredes exteriores, cobertura, portas, janelas

U= coeficiente de transmitância térmica de cada um dos componentes (paredes exteriores, cobertura, portas, janelas), calculado por:

$$U = 1 / [(1/h_e) + (1/h_i) + \Sigma (e_i / c d_i)] \text{ (W/m}^2 \text{°C) (Eq 50a)}$$

h_e = condutância térmica superficial da face externa do componente (Ver Figura B.3 do Anexo B)

h_i = condutância térmica superficial da face interna do componente (Ver Figura B.3 do Anexo B)

e = espesura de cada camada do componente, em m

cd= condutibilidade térmica de cada camada do componente, em W/m°C

Rg= radiação solar média diária (W/m²) (Ver Figura 46)

FS= Fator Solar da área envidraçada (Ver Figura B.5 do Anexo B)

Av= área das aberturas (com ou sem vidros)

Ap= área do piso

Recife	Temperatura média mensal			
mes	Temin	Temax	Delta (°)	Temed
jan	23.4	30.8	7.4	27.1
fev	23.7	30.6	6.9	27.2
mar	23.6	30.7	7.1	27.2
abr	23.5	30.5	7.0	27.0
mai	22.8	29.4	6.6	26.1
jun	22.0	28.8	6.8	25.4
jul	21.4	28.1	6.7	24.8
ago	21.7	28.7	7.0	25.2
set	21.6	28.9	7.3	25.3
out	22.5	29.9	7.4	26.2
nov	22.6	30.2	7.6	26.4
dez	23.3	30.8	7.5	27.1

(°) Temax-Temin

Fonte: IBGE

Figura 45: Valores de temperatura média mensal para cidade de Recife

Recife	Radiação solar global/média diária(W/m2)								
	RGn	RGs	RGe	RGo	RGh	RGne	RGse	RGso	RGno
jan	64	112	117	117	228	86	120	120	86
fev	64	80	116	116	224	96	107	107	96
mar	81	61	112	112	212	105	91	91	105
abr	103	55	98	98	181	105	71	71	105
mai	120	50	92	92	168	110	60	60	110
jun	122	48	86	86	158	108	55	55	108
jul	115	49	88	88	160	105	58	58	105
ago	112	56	106	106	196	115	75	75	115
set	82	61	114	114	215	107	92	92	107
out	64	80	117	117	225	96	108	108	96
nov	64	116	121	121	236	88	125	125	88
dez	64	124	116	116	226	82	125	125	82

RGn: radiação solar na orientação Norte
 RGs: radiação solar na orientação Sul
 RGe: radiação solar na orientação Este
 RGo: radiação solar na orientação Oeste
 RGh: radiação solar em plano horizontal
 RGse: radiação solar na orientação Sudeste
 RGso: radiação solar na orientação Sudoeste
 RGne: radiação solar na orientação Nordeste
 RGno: radiação solar na orientação Noroeste

Fonte: IPT

Figura 46: Valores médios diários da radiação solar, em superfícies verticais e horizontal, para cidade de Recife

$$A_i^{56} = \text{Delta} \cdot (1 - \exp(-9/t)) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 51})$$

sendo,

Delta = oscilação da temperatura exterior (T_{max}-T_{min}), extraída do Quadro da Figura 45;

t = constante de tempo que depende da capacidade térmica (CT) da edificação e que deve ser calculada conforme Equação 52, abaixo:

$$t = (12/\pi) \cdot [(1 + M^2)^{0.5}] \quad (\text{horas}) \quad (\text{Eq 52})$$

onde,

$$M = (Re \cdot CT \cdot 0.28) / (24 \cdot S) \quad (\text{horas}) \quad (\text{Eq 53})$$

sendo,

$$S = [A / (Re \cdot Q_v)] \cdot (CT_i / CT)$$

CT⁵⁷ = capacidade térmica total da edificação, em kJ/m²°C, que expressa a soma da capacidade

⁵⁶ O algoritmo proposto para cálculo de "A_i" baseia-se na metodologia proposta por Mathews (25). Ver comentários no item 4.1.3 deste trabalho.

⁵⁷ O cálculo da capacidade térmica leva em consideração o volume, calor específico e massa específica de cada uma das camadas de cada componente construtivo.

térmica da envoltória (CTe) e da capacidade térmica dos componentes interiores (CTi) calculada segundo Equação 54 e 55, respectivamente

CTi= capacidade térmica dos componentes interiores da edificação, em kJ/m²°C, calculada pela Equação 55:

$$CTe^{58} = Cg/A. \quad (kJ/°Cm^2) \quad (Eq \ 54) \quad ,$$

sendo,

A=área total da envoltória (m²)

$$Cg = [(Vc_1 * d_1 * ce_1 * E_1) + (Vc_2 * d_2 * ce_2 * E_2) + \dots + (Vc_n * d_n * ce_n * E_n)] \quad (kJ/°C) \quad (Eq \ 55)$$

Vc = Volume de cada camada que forma cada componente externo, em m³

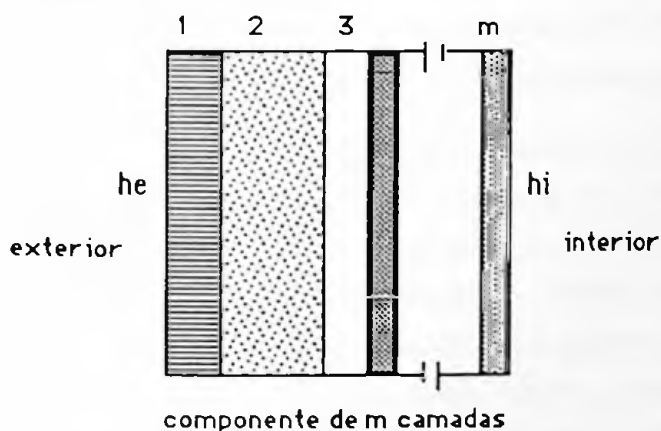
d= massa específica aparente de cada camada que forma cada componente externo, em kg/m³

ce= calor específico médio de cada camada que forma cada componente externo, em kJ/kgm³

E= fator de ponderação que considera a posição relativa de cada camada e é determinado por:

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^j R_i}{\sum_{a=j}^m R_a}$$

Ej é o fator de ponderação para a j-ésima camada



Obs: As camadas devem ser contadas do exterior para o interior

Figura 47: Corte representativo de um componente com m camadas

R é a resistencia térmica de cada camada, calculada por:

$$R = e/cd \quad (m^2°C/W) \quad (Eq \ 56)$$

sendo

⁵⁸ Observar que n representa o conjunto dos componentes externos: paredes(incluindo portas,janelas) e a cobertura.

e= espessura da camada em m

cd= condutibilidade térmica do material que compõe a camada e que deve ser extraído da Figura B.4 do Anexo B.

Nota: Observar que na somatória de Ri e Ra (Figura 47) deverá ser considerada a resistência térmica superficial interna (hi) e externa(he) , respectivamente. Assim, Ri será:

$$R_i = (1/h_i) + \sum(e/cd) \quad e$$

$$R_a = (1/h_e) + \sum(e/cd) \cdot$$

he e hi representam a condutância superficial da face externa e interna, respectivamente, e assumem os valores indicados na Figura B.3 do Anexo B

$$CT_i = C_{pv} + C_{piso} \quad (\text{Eq } 57)$$

sendo,

Cpv=capacidade térmica das partições verticais internas, expressa pela Equação 58

Cpiso= capacidade térmica do piso , expressa pela Equação 61

$$C_{pv} = (C_s/A) \cdot (R_e/R_w) \quad (\text{kJ}/^\circ\text{Cm}^2) \quad (\text{Eq } 58)$$

$$C_s = [(Vc_1 \cdot d_1 \cdot ce_1) + (Vc_2 \cdot d_2 \cdot ce_2) + \dots + (Vc_n \cdot d_n \cdot ce_n)] \quad (\text{kJ}/^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq } 59)$$

Vc = Volume de cada camada que forma cada componente interno, em m³

d= massa específica aparente de cada camada que forma cada componente interno, em kg/m³

ce=calor específico médio de cada camada que forma cada componente interno, em kJ/kgm³

Rw= resistência térmica dos componentes internos, **mas considerando apenas a resistência das camadas que compõe a primeira quarta parte do componente.**(pois apenas a face interna do componente contribui para a capacidade térmica (CTi).Se o omponente for homogêneo, deve ser utilizada a Equação 60 para cálculo de Rw.

Se o componente for heterogêneo , deve-se calcular a Rw, somando as resistencias parciais da camada até o ponto que corresponde a 1/4 da espessura do componente.

$$R_w = (1/h_i) + 0.25 \cdot (e/cd) \quad (\text{Eq } 60)$$

Re= resistência térmica da envoltória , calculada conforme o seguinte algoritmo:

$$R_e = \sum A / (A_1 U_1 + A_2 U_2 + A_3 U_3 + \dots + A_n U_n) \quad (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (\text{Eq } 50, \text{ já citada})$$

A= área total da envoltória, somatória de A₁, A₂, A₃,A_n, que corresponde à das paredes exteriores, cobertura, portas e janelas

No caso de pisos, observar para o cálculo da CTi , a seguinte Equação:

$$C_{piso} = \sum [C_{pi} \cdot (R_e/R_{pi}) \cdot ((1/h_i)/R_{pi})] \quad (\text{Eq } 61)$$

sendo,

C_{pi} = capacidade térmica da iésima camada do piso determinada conforme Equação 59

R_{pi} = resistência térmica da iésima camada que compõe o piso, calculada por:

$$R_{p1}(\text{primeira camada do piso}) = (1/h_i) + (0.5 \cdot e_1/c_{d1}) \quad (\text{Eq 62})$$

$$R_{p2}(\text{segunda camada do piso}) = (1/h_i) + (e_1/c_{d1}) + [0.5 \cdot (e_2/c_{d2})] \quad (\text{Eq 63})$$

e assim sucessivamente.

U = coeficiente de transmitância térmica de cada um dos n componentes, em $W/m^2 \cdot C$ (paredes exteriores, cobertura, portas, janelas) (Para o cálculo de U ver Equação 50a)

Q_v = taxa de troca térmica devida à ventilação, calculada segundo a equação 64, abaixo:

$$Q_v = 0.33 \cdot N \cdot V \quad (W/^\circ C), \text{ sendo} \quad (\text{Eq 64})$$

N = número de renovações de ar por hora (adotar valores fixados pela NBR 6401, indicados na Figura 67),

V = volume do ambiente analisado, em m^3 .

Para efeito de ilustração, o procedimento descrito acima (Procedimento PDT2, item 4.2.2) está aplicado a seguir para a cidade de Recife, considerando uma *edificação tipo (alternativa 1)*, a partir da qual são introduzidas modificações com o objetivo de identificar a solução de projeto que permitirá dispensar o condicionamento artificial, ou seja, a solução que permitirá que a T_{max} não ultrapasse o valor máximo estabelecido para Recife: $27.5^\circ C$ (este valor foi determinado no Procedimento PDT1, item 4.2.1.

Comentários :

1. Considerando que os meses que dispensam o condicionamento artificial em Recife (ver Diagnóstico Climático para Recife, Figuras 33 e 36) são maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, a avaliação do desempenho térmico do projeto básico deverá ser realizada para todos esses meses. No exemplo que segue está analisado apenas o mês de maio.

2. Os dados necessários para determinação de T_{max} (temperatura interna máxima a ser atingida no interior do ambiente analisado) e T_{min} (temperatura interna mínima a ser atingida no interior do ambiente analisado) constam das planilhas que descrevem as alternativas 1, 2, 3, e 4, nas Figuras 48, 49, 50 e 51.

3. A estimativa de **Timax** e **Timin** foi feita com base nas Equações 44 e 45.

As **4 alternativas** de projeto apresentadas a seguir, tem por objetivo demonstrar, particularmente:

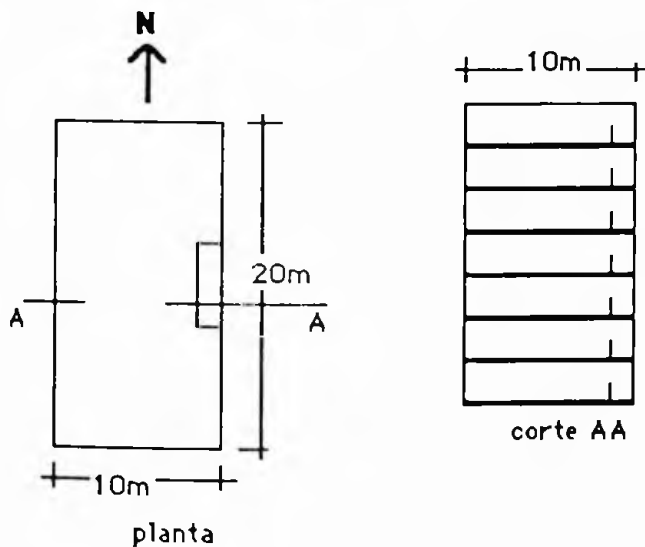
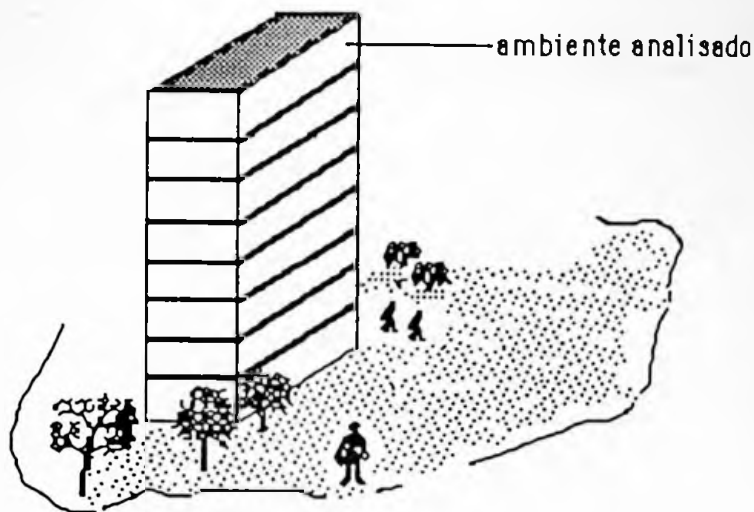
- a. a influência da **orientação** da edificação no terreno;
- b. a importância de se localizar corretamente a **camada de isolante térmico na cobertura**,
- c. a influência de **revestimentos do piso** (carpete);
- d. a influência da **dimensão das áreas envidraçadas**;
- e. a influência das **condições de ventilação**.

4. Os resultados obtidos para **Timax** e **Timin** para cada uma das **4 alternativas** estão reunidas nos gráficos das Figuras 52 e 53 , para 2 condições de ventilação (**1 Volume** por hora e **6 Volumes** por hora).

5 Os resultados apresentados no exemplo que segue foram obtidos com aplicação de um "software" elaborado com Excel 1.5 para Macintosh, pela autora do presente trabalho. Os algoritmos utilizados nesse programa foram aqueles descritos neste capítulo .

6. Observar que a alternativa descrita a seguir (**alternativa 1**) seria o projeto **básico** a ser avaliado. As demais **alternativas (2, 3 e 4)** constituem modificações introduzidas no projeto básico, na tentativa de buscar soluções que eliminem a necessidade de condicionamento artificial.

7. Se, mesmo constatando que a **alternativa 1** (projeto básico original), **não é** satisfatória do ponto de vista da desempenho térmico, isto é, a **Timax** encontrada é superior a **27.5°C**, o projetista poderá optar por essa solução, e deverá passar à **Etapa 4**, que corresponde ao Procedimento **PDT3**, item 4.2.3. Em seguida deverá estimar o **consumo de energia elétrica para condicionamento**, indicada no capítulo 5



cobertura: laje de concreto
espessura: 0.20 m
densidade: 2200 kg/m³
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: 3.9 W/m²°C
coef. absorção (cor): 0.8

Resultados da Avaliação do Desempenho Térmico

Taxa de ventilação : 1 Vol/hora

T_{imax} = 34.6 °C
T_{imin} = 23.6 °C
T_{imed} = 29.1 °C

Taxa de ventilação : 6 Vol/hora

T_{imax} = 34.1 °C
T_{imin} = 24.0 °C
T_{imed} = 29.1 °C

Alternativa 1

área do piso: 200m²
área envidraçada: 100% da área das fachadas

condições de utilização

ocupação: 10h/ dia
iluminação: 40 W/m²
densidade: 4m²/pessoa

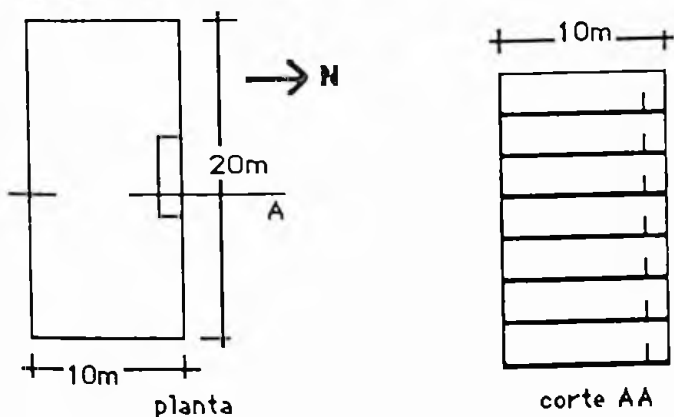
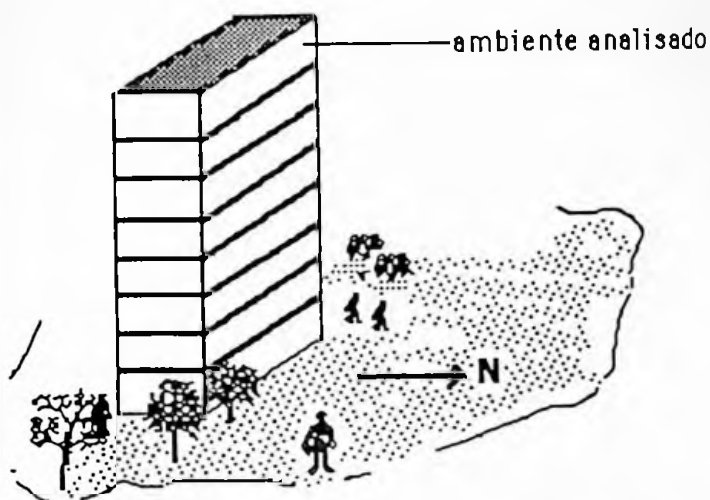
Componentes Construtivos

vedações verticais: vidro comum
espessura: 10mm
Fator Solar: 0.86
transmitância térmica: 5.4 W/m²°C

partições internas: concreto leve
espessura: 0.15m
densidade: 1200 kg/m³
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: 1.8 W/m²°C

piso: laje de concreto
espessura: 0.15m
densidade: 2200 kg/m³
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: 3.3 W/m²°C

Figura 48: Desempenho térmico de uma edificação, no mes de maio, a ser construída em Recife



Alternativa 2

As alterações em relação à alternativa 1 estão assinaladas com a textura

área do piso: 200m^2
 área envidraçada: 100% da área das fachadas

condições de utilização

ocupação: 10h /dia
 iluminação: 40 W/m^2
 densidade: $4\text{m}^2/\text{pessoa}$

Orientação da maior fachada : NORTE

Componentes Construtivos

vedações verticais: vidro comum
 espessura: 10mm
 Fator Solar: 0.86
 transmitância térmica: $5.4\text{ W/m}^2\text{°C}$

partições internas: concreto leve
 espessura: 0.15m
 densidade: 1200 kg/m^3
 calor específico: 0.8 kJ/kg °C
 transmitância térmica: $1.8\text{ W/m}^2\text{°C}$

piso: laje de concreto + carpete
 espessura: 0.15m
 densidade: 2200 kg/m^3
 calor específico: 0.8 kJ/kg °C
 transmitância térmica: $0.87\text{ W/m}^2\text{°C}$

cobertura: laje de concreto

espessura: 0.20 m
 densidade: 2200 kg/m^3
 calor específico: 0.8 kJ/kg °C
 transmitância térmica: $3.9\text{ W/m}^2\text{°C}$
 coef. absorção (cor): 0.8

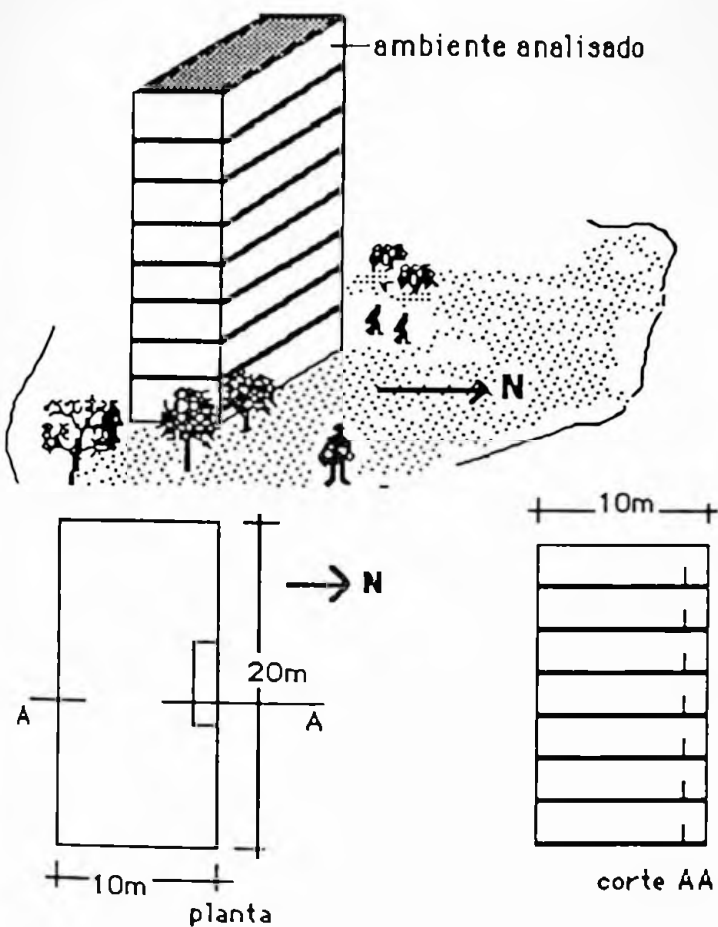
$CT = 152\text{ kJ/m}^2\text{°C}$
 $Re = 0.21\text{ m}^2\text{°C/W}$

Resultados da Avaliação do Desempenho Térmico

Taxa de ventilação: 1 Vol/hora
 T_{imax} = 33.8 °C
 T_{imin} = 24.0 °C
 T_{imed} = 28.9 °C

Taxa de ventilação: 6 Vol/hora
 T_{imax} = 33.3 °C
 T_{imin} = 24.5 °C
 T_{imed} = 28.9 °C

Figura 49: Idem Figura 48, mas com a maior fachada voltada para Norte.



Alternativa 3

As alterações em relação à alternativa 1 estão assinaladas com a textura

área do piso: 200m^2
área envidraçada: 100% da área das fachadas

condições de utilização

ocupação: 10h /dia
iluminação: 40 W/m^2
densidade: $4\text{m}^2/\text{pessoa}$

Orientação da maior fachada: NORTE

Componentes Construtivos

vedações verticais: vidro comum
espessura: 10mm
Fator Solar: 0.86
transmitância térmica: $5.4\text{ W/m}^2\text{°C}$

partições internas: concreto leve
espessura: 0.15m
densidade: 1200 kg/m^3
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: $1.8\text{ W/m}^2\text{°C}$

piso: laje de concreto
espessura: 0.15m
densidade: 2200 kg/m^3
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: $3.3\text{ W/m}^2\text{°C}$

Obs: sem carpete

cobertura: laje de concreto

espessura: 0.20 m
densidade: 2200 kg/m^3
calor específico: 0.8 kJ/kg °C
transmitância térmica: $3.9\text{ W/m}^2\text{°C}$
coef. absorção(cor): 0.8

+ isolante na face externa

CT=861 $\text{kJ/m}^2\text{°C}$
Re=0.32 $\text{m}^2\text{°C/W}$

Resultados da Avaliação do Desempenho Térmico

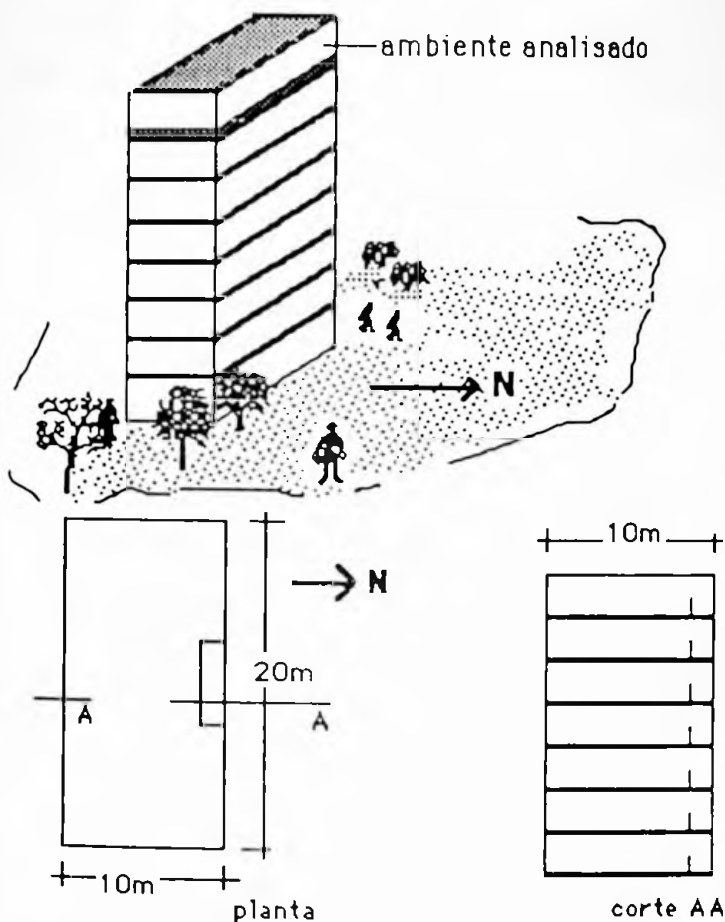
Taxa de ventilação: 1 Vol/hora

Timax= 31.9°C
Timin= 28.1°C
Timed= 30.0°C

Taxa de ventilação: 6 Vol/hora

Timax= 30.6°C
Timin= 29.3°C
Timed= 30.0°C

Figura 50: Idem Figura 50, mas sem revestimento no piso (carpete) e com isolamento da cobertura



Alternativa 4

As alterações em relação à alternativa 1 estão assinaladas com a textura

área do piso: 200m^2
 área envidraçada: 30 % da área das fachadas

condições de utilização

ocupação: 10h/ dia
 iluminação: $20\text{W}/\text{m}^2$
 densidade: $4\text{m}^2/\text{pessoa}$

Orientação da maior fachada: NORTE

Componentes Construtivos

vedações verticais: vidro atérmico
 espessura: 10mm
 Fator Solar: 0.20
 transmitância térmica: $5.4\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

vedações verticais: idem partições internas

coef. absorção (cor): 0.8

partições internas: concreto leve
 espessura: 0.15m
 densidade: $1200\text{kg}/\text{m}^3$
 calor específico: $0.8\text{kJ}/\text{kg °C}$
 transmitância térmica: $1.8\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

piso: laje de concreto Obs: sem carpete
 espessura: 0.15m
 densidade: $2200\text{kg}/\text{m}^3$
 calor específico: $0.8\text{kJ}/\text{kg °C}$
 transmitância térmica: $3.3\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

cobertura: laje de concreto

espessura: 0.20 m
 densidade: $2200\text{kg}/\text{m}^3$
 calor específico: $0.8\text{kJ}/\text{kg °C}$
 transmitância térmica: $3.9\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

+ isolante na face externa

$CT = 980\text{kJ}/\text{m}^2\text{°C}$
 $Re = 0.5\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$

Resultados da Avaliação do Desempenho Térmico

Taxa de ventilação: 1 Vol/hora
$T_{\text{max}} = 28.2\text{°C}$
$T_{\text{min}} = 26.2\text{°C}$
$T_{\text{med}} = 27.2\text{°C}$

Taxa de ventilação: 6 Vol/hora
$T_{\text{max}} = 27.4\text{°C}$
$T_{\text{min}} = 27.0\text{°C}$
$T_{\text{med}} = 27.2\text{°C}$

Figura 51: Idem Figura 50, com redução da área envidraçada, vidro especial e com $20\text{W}/\text{m}^2$.

Os valores de T_{max} (temperatura interior máxima) e T_{min} (temperatura interior mínima) obtidos nas 4 alternativas de projeto descritas acima estão reunidas nos gráficos das Figuras 52 e 53, respectivamente para duas condições de ventilação: 1 e 6 Volumes por hora.

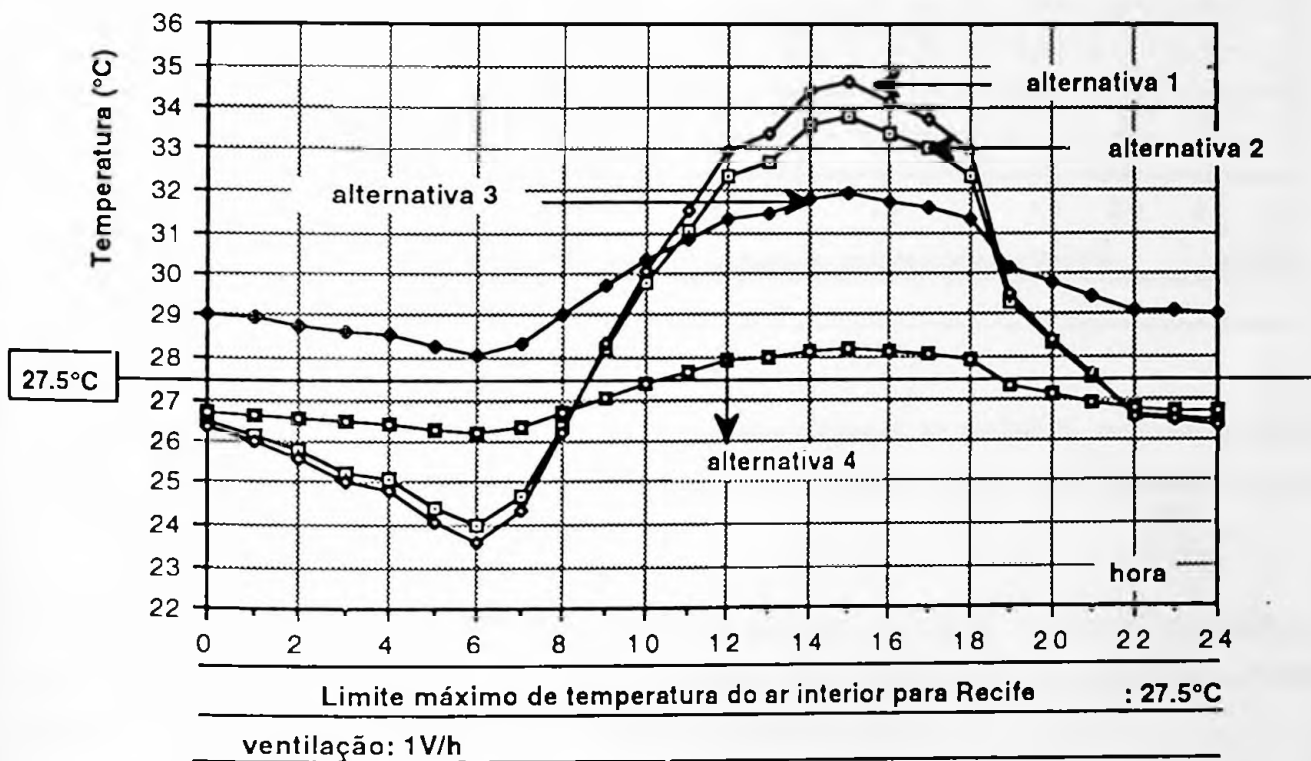


Figura 52: Oscilação da temperatura do ar interior do ambiente, no mes de maio, em Recife, para 4 alternativas de projeto, para uma taxa de renovação de ar de 1 V/h.

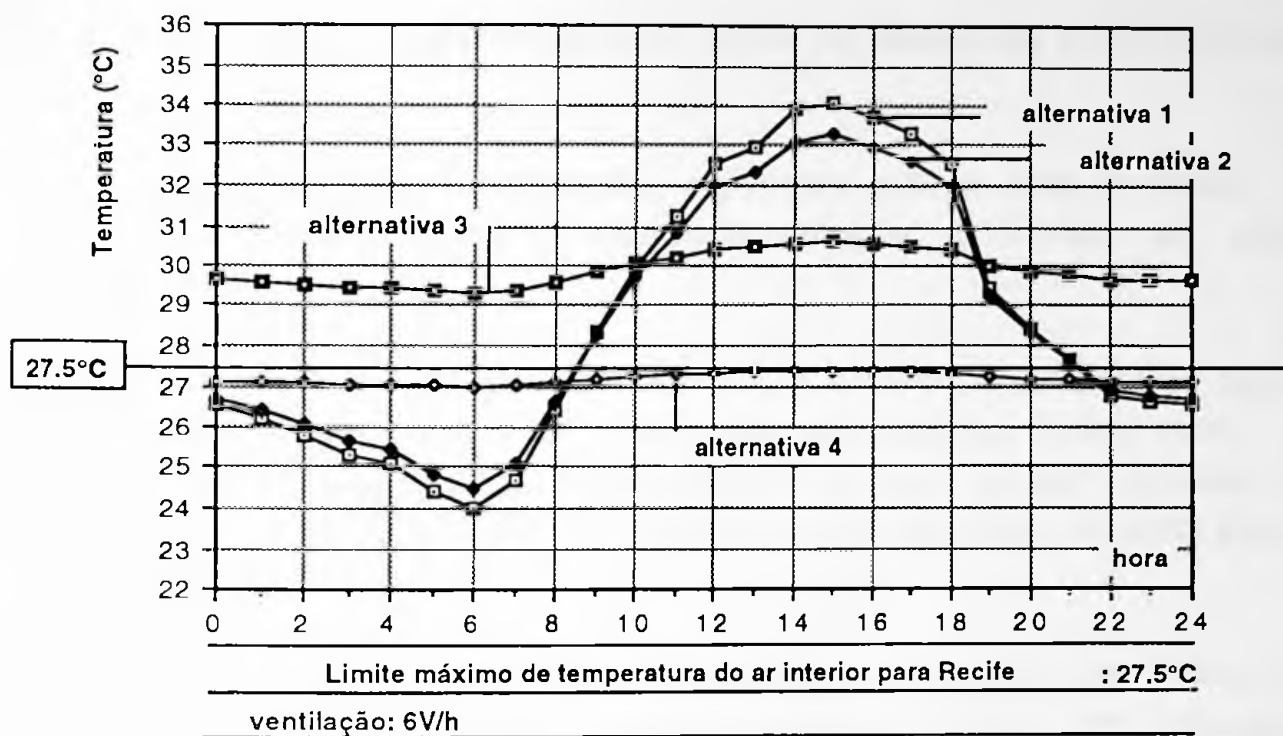


Figura 53 Oscilação horária da temperatura interior no ambiente ,no mes de maio,em Recife, para 4 alternativas de projeto, para uma taxa de renovação de ar de 6 V/h.

Nota importante: As curvas de variação horária da temperatura do ar interior (T_{imax}) apresentadas nos dois gráficos anteriores não levaram em conta o atraso característico de cada alternativa. Portanto não deve ser associado o valor da temperatura com a hora que a mesma ocorre.

Com relação aos resultados apresentados nos gráficos das Figuras 52 e 53 , observar:

- a. que as modificações⁵⁹ introduzidas pela alternativa 4 , para taxas de ventilação de 6V/h, tornam a edificação adequada do ponto de vista térmico, pois a temperatura máxima atingida no interior da mesma é de

⁵⁹ As alterações introduzidas na alternativa 4 (em relação à alternativa 1) foram: maior fachada da edificação voltada para orientação Norte, redução da área envidraçada, aplicação de isolante térmico na face externa da cobertura, cor clara nas superfícies exteriores dos componentes verticais, redução da potência de iluminação artificial e remoção do revestimento do piso.

27.4°C (a *Timax* recomendada para Recife foi fixada em 27.5°C, no item 4.2.1).

Portanto, a introdução das modificações significam que no mes de maio, poderá ser dispensado o condicionamento artificial, se utilizada a alternativa 4.

b. que mesmo para as alternativas 1 e 2 existem horários nos quais os valores da temperatura do ar interior são satisfatórios. Neste caso poderia ser dispensado o condicionamento artificial nesses horários. O consumo de energia elétrica (ver Item 5.2) será calculado apenas para esses períodos.

Qualquer que seja a opção do projetista, estimados os valores de *Timax* e *imin* para os meses que dispensam o condicionamento artificial, em seguida deverá ser aplicado o Procedimento **PDT3**, descrita a seguir.

4.2.3 Cálculo da Temperatura Superficial (PDT3)

Objetivo:

Estimar os valores da **temperatura superficial (θ) da face interna** dos componentes externos (paredes e cobertura). A limitação do valor de θ deve obedecer aos seguintes **critérios**:

- a. a temperatura superficial(θ) não deve ultrapassar em mais de **3.0°C** (tres) o valor da temperatura do ar interior⁶⁰ para os componentes horizontais e **2.5°C** para os componentes verticais opacos;
- b. a temperatura superficial(θ) deve ser superior à temperatura de condensação (particularmente nas condições de inverno).

Nota: Estes critérios devem obrigatoriamente ser atendidos, independentemente de o projetista ter optado pelo condicionamento artificial ou natural.

Dados necessários:

1. Valores de T_{max} , T_{min} e T_{med} para o projeto básico (valores determinados no item 4.2.2, Procedimento PDT2), ou o valor da temperatura do ar interior que será adotado no caso do condicionamento artificial (o projetista poderá adotar o valor determinado para o L_s - limite superior de conforto definido em 4.2.1, ou o valor estabelecido na NBR 6401/1982);
2. Valores medios mensais da **temperatura ar-sol** (ver item 3.2.3);
3. Variação horária da temperatura ar-sol, para todos os meses(ver item 3.2.3, Figura 23);

⁶⁰ A limitação da temperatura superficial varia de país para país. A UEATC (15) expressa esse critério através do "fator de temperatura superficial" (limitado em 0.2) e que é definido pela relação entre: a diferença máxima entre a temperatura superficial e a temperatura do ar interior e a diferença entre a temperatura do ar exterior e a temperatura do ar interior. Neste trabalho foi adotado o critério formulado pelo IPT (26).

4. Dados relativos às características térmicas dos materiais e componentes construtivos.

5. Carta psicrométrica da região (Ver item 3.2.3).

Procedimentos

A Cálculo da Temperatura Superficial

O cálculo da variação horária da Temperatura da Superficial (θ_{h+fi}), para todos os meses, através dos seguintes algoritmos:

$$\theta_{h+fi} = \theta_{med} + m_i \cdot (T_{as_h} - T_{as_{med}}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 65})$$

sendo,

θ_{h+fi} = temperatura superficial do componente na hora h , considerando o atraso " fi " do componente (Ver Equação 70)

T_{as_h} = temperatura ar-sol na hora h , calculada pela seguinte expressão:

$$T_{as_h} = (alf \cdot Rg_h / h_e) + T_{e_h} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{painéis verticais}) \quad (\text{Eq 66})$$

$$T_{as_h} = (alf \cdot Rg_h / h_e) + T_{e_h} - 4 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{cobertura})^{61} \quad (\text{Eq 67})$$

sendo,

alf = coeficiente de absorção à radiação (função da cor do revestimento) (Ver Figura B.2 do Anexo B)

h_e = condutância térmica superficial da face externa ($\text{m}^2\text{C/W}$) (Ver Figura B.3 do Anexo B)

Rg_h = radiação solarglobal na hora h , (W/m^2) (Ver Figura 17)

T_{e_h} = temperatura do ar exterior na hora h ($^\circ\text{C}$) (Ver Figura 11)

θ_{med} = temperatura superficial média, calculada pela seguinte expressão:

$$\theta_{med} = T_{imed} + (U/h_i) \cdot (T_{as_{med}} - T_{imed}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 68})$$

sendo,

⁶¹ Para planos horizontais, o cálculo de T_{as} inclui a parcela (-4°C) que corresponde à perda de radiação para o fundo do céu, que apresenta baixas temperaturas. Alguns autores, como Gomes, F.J (15), recomendam que no período noturno, para as vedações verticais também seja considerada uma perda de (-2°C). Rivero (28), ao considerar que a radiação longa emitida pelo solo compensa a perda para o fundo de céu, sugere que a parcela negativa, para as vedações verticais, não seja considerada.

T_{imed} = temperatura média do ar interior calculada conforme Procedimento PDT2, item 4.2.2, ou valor da temperatura de conforto adotado para condicionamento artificial (L_s), determinado em 4.2.1 (°C)

U = coeficiente de transmitância térmica dos componentes ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) (Ver Equação 50a)

h_i = condutância térmica superficial da face interna ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) (Ver Figura B.3 do Anexo B)

T_{asmed} = temperatura ar-sol média (°C), que deve ser calculada por:

$$T_{asmed} = (\sum T_{as_h}) / 24 \quad (\text{somatória em 24h}) \quad (^\circ C) \quad (\text{Eq 68a})$$

m_i = amortecimento provocado pelo componente, calculado seguinte a expressão:

$$m_i = 1 / \exp(re * ((\pi/24) * (cd * d * c * 0.28)^{0.5})) \quad (\text{adimensional}) \quad (\text{Eq 69})$$

sendo,

R = resistência térmica do componente ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) (Ver Equação 56)

cd = condutibilidade térmica ($W/m \cdot ^\circ C$) (Ver Figura B.4 do Anexo B)

ce = calor específico ($kJ/kg \cdot ^\circ C$) (Ver Figura B.4 do Anexo B)

d = massa específica (kg/m^3) (Ver Figura B.4 do Anexo B)

f_i = atraso provocado pelo componente, calculado seguinte a expressão:

$$f_i = 0.5 * R * (((24/\pi) * (cd * d * ce * 0.28))^{0.5}) \quad (\text{horas}) \quad (\text{Eq 70})$$

Nota: A Equação 69 e 70 somente devem ser utilizadas quando os componentes são homogêneos. Para componentes com mais de um material, utilizar a equação 71 e 74⁶².

$$m_i = \exp(-((\pi/24) * B)^{0.5}) \quad (\text{adimensional}) \quad (\text{Eq 71})$$

$$B = (Rt^2) * Z * 0.28 \quad (\text{Eq 72})$$

sendo,

$Rt = (1/h_i) + (1/h_e) + \sum (e/cd)$ (resistência total do componente)

$Z = (1.1/Rt) * [\sum ((e/cd) * (cd * ce * d)) - (e/cd)_1 * (cd * ce * d)_1] \dots$

$\dots + ((cd * ce * d)_1) / Rt * [(e/cd)_1 - 0.1 * Rt]$ (Eq 73)

$$f_i = 0.5 * ((24/\pi) * B)^{0.5} \quad (\text{horas}) \quad (\text{Eq 74})$$

Os valores determinados de \emptyset (a partir da Equação 65), para as paredes e para a cobertura devem ser comparados com o valor médio da temperatura do ar interior (T_{imed}), calculado no item 4.2.2, ou o valor da temperatura de

⁶² Formulação proposta por Mackey e Wright (15).

conforto adotada nos casos em que os ambientes serão condicionados. Essa operação deve ser realizada inicialmente para o componente que apresenta a orientação mais desfavorável em relação à temperatura ar-sol. Essa condição "**mais desfavorável**"

pode ser constatada nos gráficos da Figura 23 da variação da temperatura ar-sol no item 3.2, .Se o resultado de Δ se mostrar adequado não será necessário realizar os cálculos para os demais componentes.

Para efeito de demonstração está descrito abaixo o cálculo da variação de Δ (**temperatura superficial) das vedações verticais e cobertura** para a cidade de Recife, no mes de maio, utilizando o exemplo de projeto descrito anteriormente como **alternativa 4**.

Temperatura media do ar no interior da edificação
Timed= 27.2°C (Ver Figura 51)

Critério a ser atendido:

1. para os paineis verticais:

$$\Delta \leq \text{Timed} + 2.5^{\circ}\text{C} \quad \text{ou} \quad \Delta \leq 29.7^{\circ}\text{C}$$

2. para a cobertura:

$$\Delta \leq \text{Timed} + 3.0^{\circ}\text{C} \quad \text{ou} \quad \Delta \leq 30.2^{\circ}\text{C}$$

Dados do painel em concreto leve

U= 1.8 W/m²°C (transmitância térmica do painel), calculado pela Equação 50a
mi=0.23 , calculado com base na equação 65

sendo

R= 0.39 m²°C/W (resistência térmica do componente) calculado pela Equação 56

cd= 0.38 W/m°°C (condutibilidade térmica)(Ver Figura B.4 do AnexoB)

ce= 0.8 kJ/kg °°C (calor específico)(Ver Figura B.4 do AnexoB)

d= 1200 kg/m³ (massa específica)(Ver Figura B.4 do AnexoB)

fi= 5 horas, calculado com base na equação 66

$$h_i^{63} = 9.26 \text{ W/m}^2\text{°C (Ver Figura B.3 do AnexoB)}$$

Nota: Observar que T_{as} foi determinada para um coeficiente de absorção de 0.2 (Ver Figura B.2 do AnexoB), correspondente à cor clara nas superfícies externas dos painéis de vedação da edificação (alternativa 4).

Dados da cobertura:

$U = 0.97 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (transmitância térmica do conjunto laje+isolante)

$m_i = 0.03$, calculado com base na Equação 65, sendo

$cd = 1.7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (condutibilidade térmica do concreto)

$cd = 0.035 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (condutibilidade térmica do isolante)

$ce = 0.8 \text{ kJ/kg °C}$ (calor específico do concreto)

$ce = 0.7 \text{ kJ/kg °C}$ (calor específico do isolante)

$d = 1200 \text{ kg/m}^3$ (massa específica do concreto)

$d = 200 \text{ kg/m}^3$ (massa específica do isolante)

$f_i = 13$ horas, calculado com base na equação 66

$$h_i^{64} = 6.13 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Nota: Observar que T_{as} para cobertura foi determinada para um coeficiente de absorção de 0.8, correspondente à cor da superfície externa.(alternativa 4).

A variação da T_{as_h} para as orientações Norte,Sul,Leste, Oeste e em plano horizontal está descrita nos gráficos que seguem.

Observar que o valor de T_{asmed} está indicado no gráfico correspondente a cada orientação (no caso da fachada Norte, T_{asmed} é igual a 26.6°C).

Adotando os dados citados acima, e aplicando a Equação 68, o valor da temperatura superficial media (\varnothing_{med}) e a variação horária da temperatura superficial (\varnothing_h) para cada um dos componentes será:

Nota: Nos gráficos de T_{as} abaixo, T_e representa a variação de temperatura do ar no mes de maio, em Recife.

⁶³ Valor de h_i recomendado pela ASHRAE(11), adotando temperatura superficial de 21.1°C e diferença entre temperatura do ar e temperatura superficial de 5.5°C .

⁶⁴ Valor de h_i recomendado pela ASHRAE(11), adotando temperatura superficial de 21.1°C e diferença entre temperatura do ar e temperatura superficial de 5.5°C .

Fachada Norte

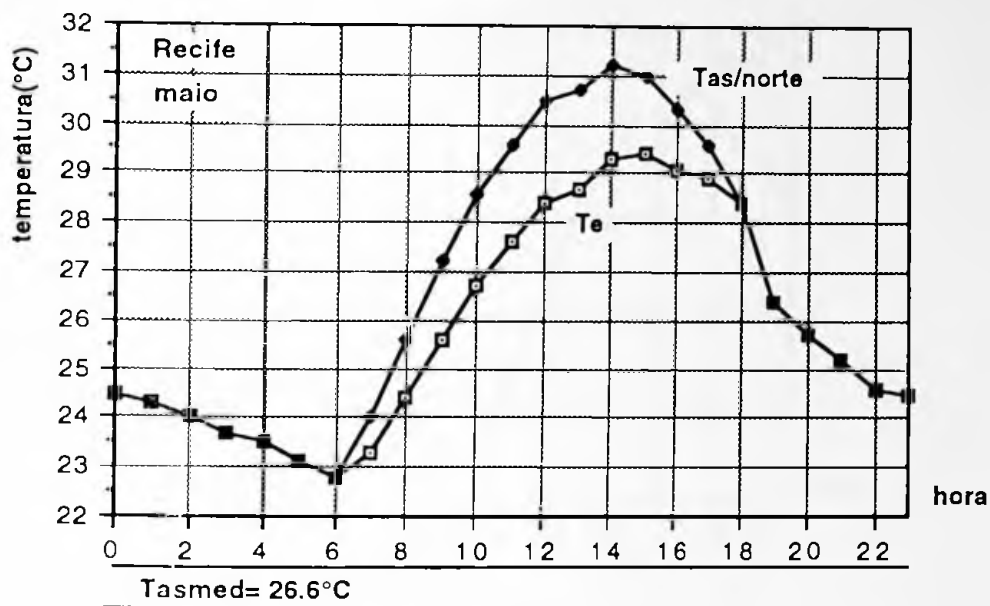


Figura 54: Variação horária da temperatura ar-sol (Tas) , em Recife, de superfície de cor clara, voltada para a orientação Norte

$$\bar{\theta}_{med} = 27.2 + (1.8/9.26)(26.6 - 27.2)$$

$$\bar{\theta}_{med} = 27.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A aplicação da Equação 65, com os dados característicos dos componentes construtivos descritos acima determina a seguinte variação da temperatura superficial da face interna do painel de concreto leve, voltado para orientação Norte:

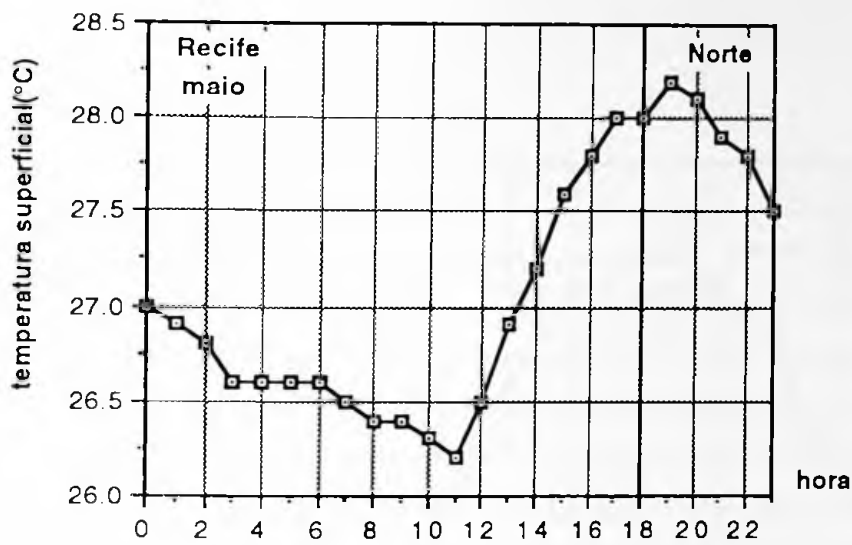


Figura 55:: Variação horária da temperatura superficial da face interna de painel de concreto leve voltado para a orientação Norte

Para a fachada **Norte**, o painel em concreto leve , revestido externamente em cor clara, apresentará a variação de temperatura superficial que está descrita no gráfico da Figura 55.

Observar que o desempenho térmico do mesmo é satisfatório, pois o **limite estabelecido para a temperatura superficial de 29.7°C** não é atingido em nenhum horário do período.

Fachada Sul

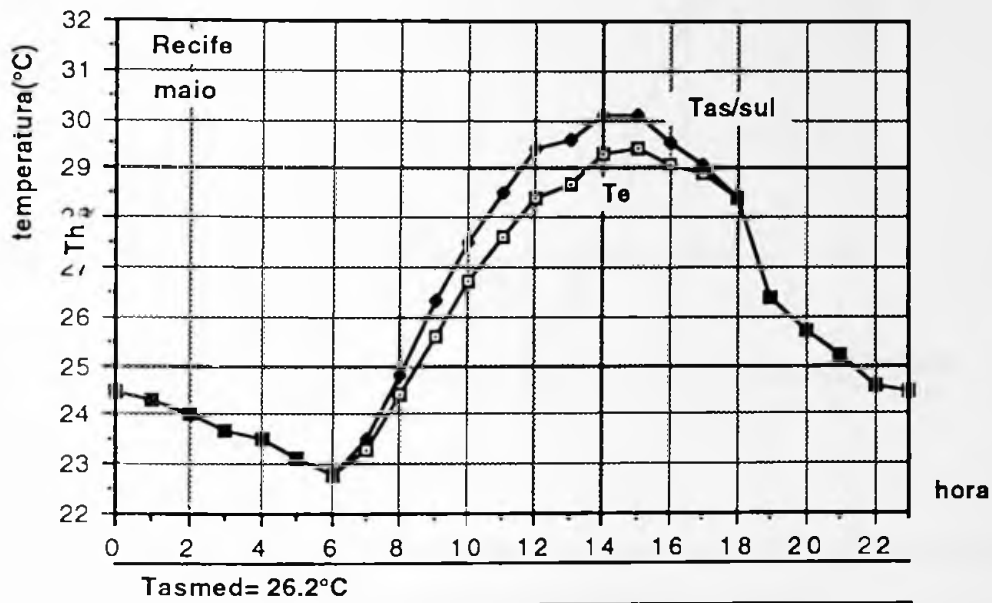


Figura 56: Variação horária da temperatura ar-sol (T_{as}), em Recife, de superfície de cor clara, voltada para a orientação Sul

$$\bar{\theta}_{med} = 27.2 + (1.8/9.26)(26.2 - 27.2)$$

$$\bar{\theta}_{med} = 27.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A aplicação da Equação 65, com os dados característicos dos componentes construtivos descritos acima determina a seguinte variação da temperatura superficial da face interna do painel de concreto leve, voltado para orientação Sul:

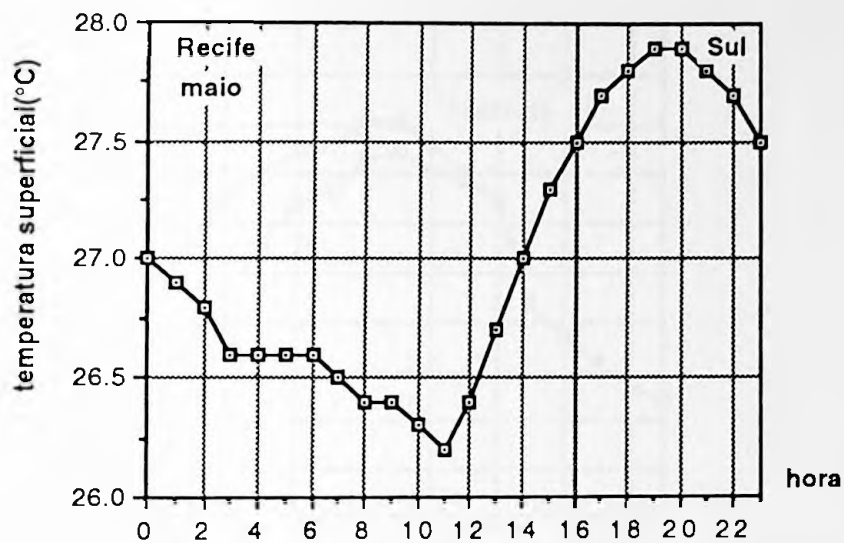


Figura 57:Variação horária da temperatura superficial da face interna de painel de concreto leve voltado para a orientação Sul.

Para a fachada Sul, o painel em concreto leve , revestido externamente em cor clara, apresentará a variação de temperatura superficial que está descrita no gráfico da Figura 57.

Observar que o desempenho térmico do mesmo é satisfatório, pois o **limite estabelecido para a temperatura superficial de 29.7°C** (que corresponde à temperatura do ar + 2.5°C) **não** é atingido em nenhum horário do período.

Fachada Leste

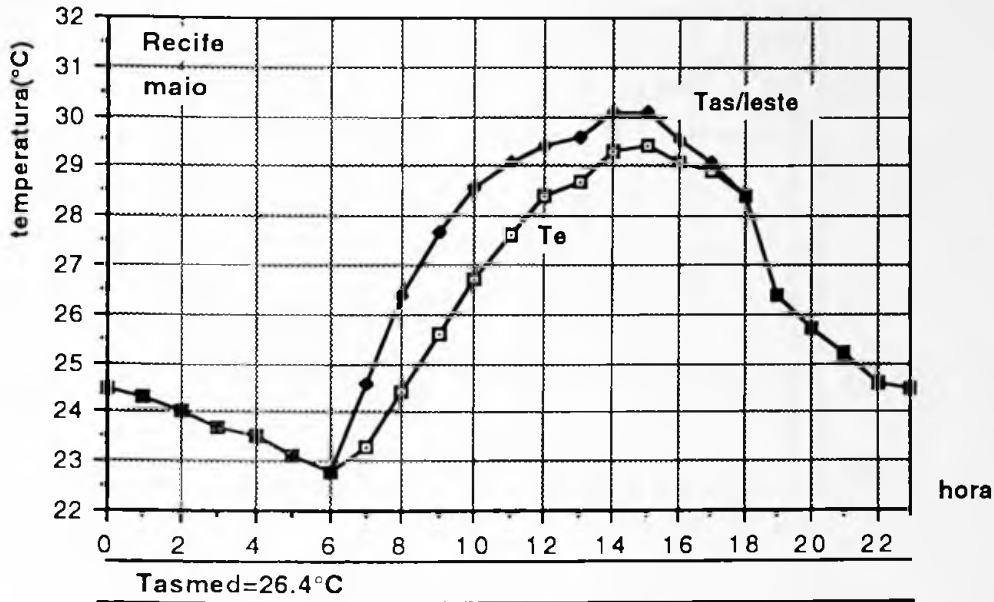


Figura 58: Variação horária da temperatura ar-sol (T_{as}), em Recife, de superfície de cor clara, voltada para a orientação Leste

$$\bar{\theta}_{med} = 27.2 + (1.8/9.26)(26.4 - 27.2)$$

$$\bar{\theta}_{med} = 27.0^{\circ}\text{C}$$

A aplicação da Equação 65, com os dados característicos dos componentes construtivos descritos acima determina a seguinte variação da temperatura superficial da face interna do painel de concreto leve:

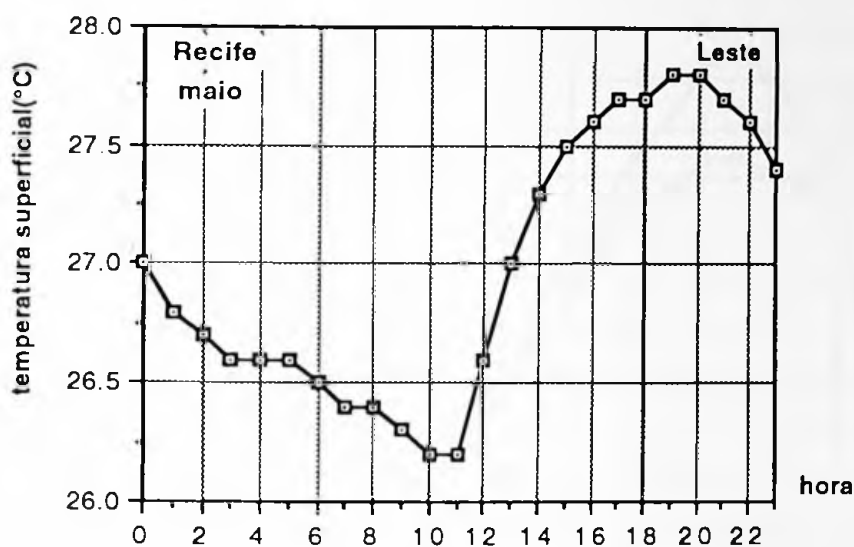


Figura 59:Variação horária da temperatura superficial da face interna de painel de concreto leve voltado para a orientação Leste

Para a fachada Leste, o painel em concreto leve , revestido externamente em cor clara, apresentará a variação de temperatura superficial que está descrita no gráfico anterior.

Observar que o desempenho térmico do mesmo é satisfatório, pois o limite estabelecido para a temperatura superficial de 29.7°C (que corresponde à temperatura do ar + 2.5°C) não é atingido em nenhum horário do período.

Fachada Oeste

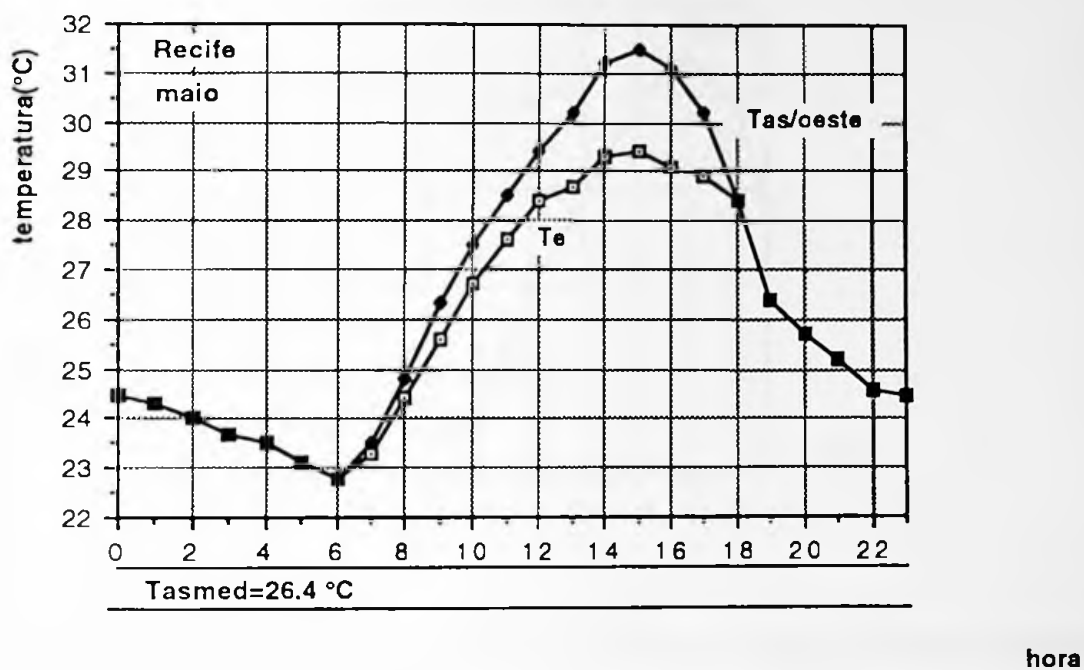


Figura 60: Variação horária da temperatura ar-sol (Tas) , em Recife, de superfície de cor clara, voltada para a orientação Oeste

$$\bar{\theta}_{med} = 27.2 + (1.8/9.26)(26.4 - 27.2)$$

$$\bar{\theta}_{med} = 27.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A aplicação da Equação 65, com os dados característicos dos componentes construtivos descritos acima determina a seguinte variação da temperatura superficial da face interna do painel de concreto leve, voltado para a orientação Oeste:

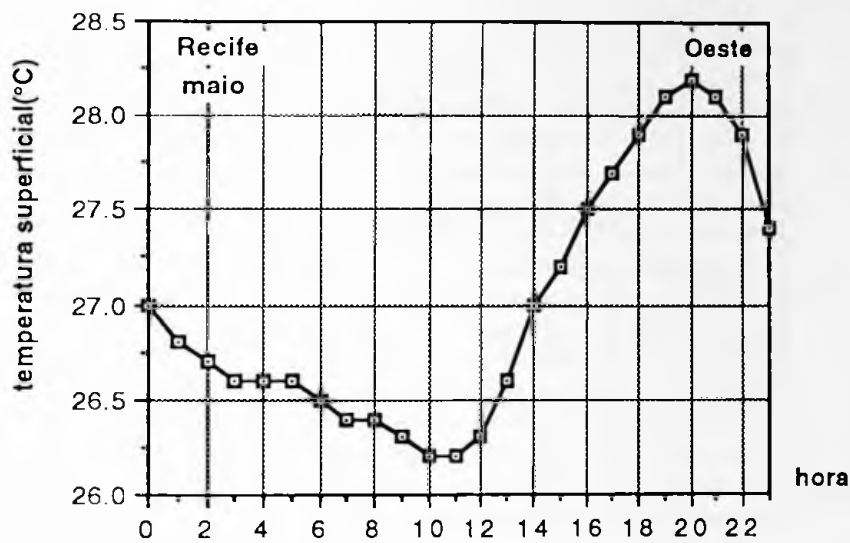


Figura 61: Variação horária da temperatura superficial da face interna de painel de concreto leve voltado para a orientação Oeste

Para a fachada **Oeste**, o painel em concreto leve, revestido externamente em cor clara, apresentará a variação de temperatura superficial que está descrita no gráfico da Figura 61.

Observar que o desempenho térmico do mesmo é satisfatório, pois o **limite estabelecido para a temperatura superficial de 29.7°C** (que corresponde à temperatura do ar + 2.5°C) **não** é atingido em nenhum horário do período.

Cobertura

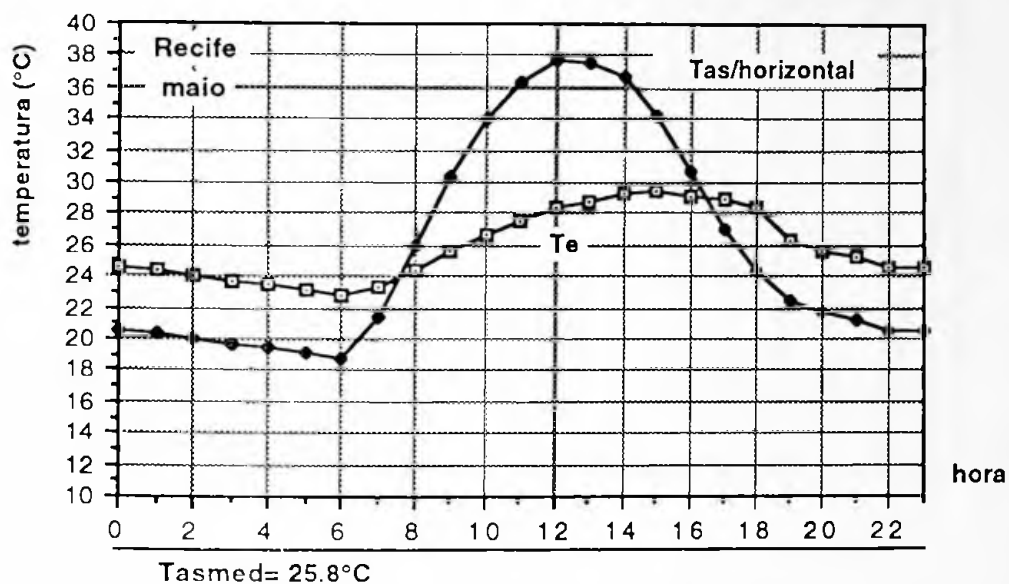


Figura 62: Variação horária da temperatura ar-sol (Tas) , em Recife, de superfície horizontal de cor escura.

$$\bar{\theta}_{med} = 27.2 + (0.97/6.13)(25.8 - 27.2)$$

$$\bar{\theta}_{med} = 26.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para a **cobertura**, composta de laje em concreto e isolante térmico na face externa, mesmo com revestimento em cor escura, apresentará a variação de temperatura superficial que está descrita no gráfico anterior.

Observar que o desempenho térmico do mesmo é satisfatório, pois o **limite estabelecido para a temperatura superficial de 30.2°C** (que corresponde à temperatura do ar + 3.0°C) não é atingido em nenhum horário do período. Observar que tal desempenho se deve à presença do isolante térmico na face externa da cobertura.

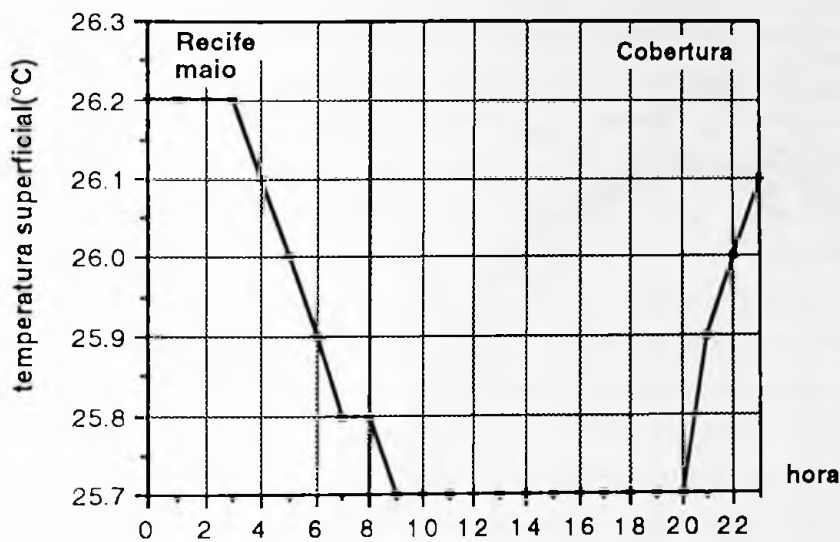


Figura 63: Variação horária da temperatura superficial da face interna da cobertura.

A título de comparação, o gráfico da Figura 64 reúne a variação da temperatura superficial dos painéis de concreto leve nas quatro orientações.

No referido gráfico, observar que o **valor máximo da temperatura superficial**, para todas as orientações ocorre após as 17horas.

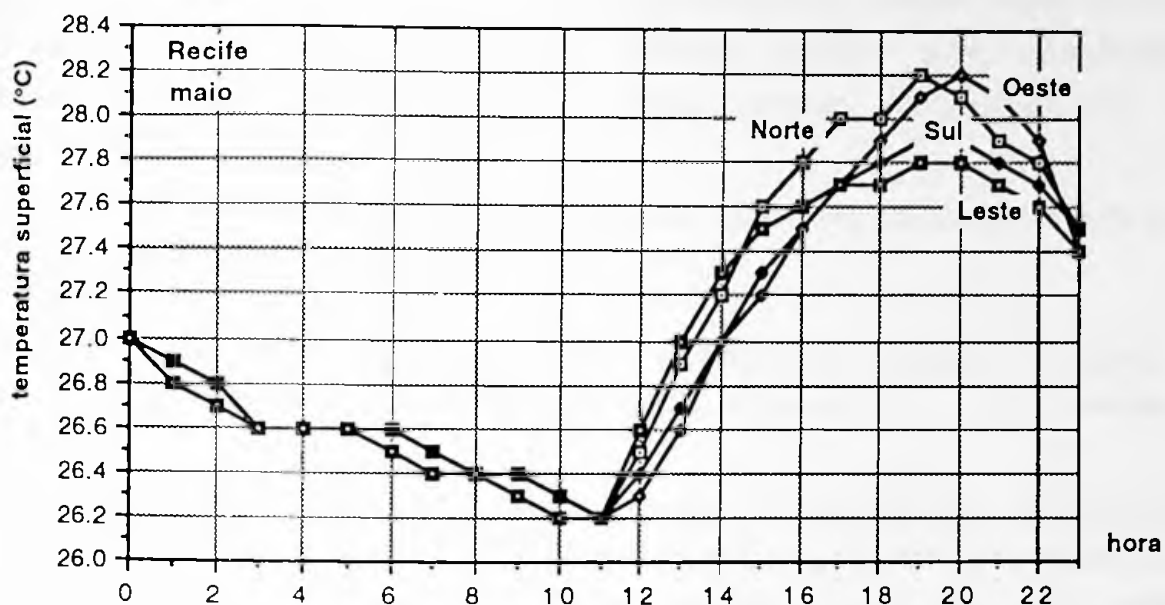


Figura 64: Variação da temperatura superficial dos painéis em concreto leve, com acabamento externo em cor clara, nas 4(quatro) orientações, no mes de maio, em Recife.

Caso o desempenho dos painéis não seja satisfatório, isto é, a temperatura superficial ultrapasse o valor estabelecido como limite (no caso de Recife o limite é de 29.7°C para os componentes verticais e 30.2°C para a cobertura), o projetista deverá aumentar a resistência térmica dos mesmos (aumentando a espessura ou aplicando isolantes térmicos ou mudando o material, ou ainda, sombreando esses componentes). No caso em que os componentes são revestidos externamente com cor escura o recurso mais simples é substituir tal acabamento por cor clara (Ver Figura B.2 do Anexo B)

B Verificação do Risco de Condensação Superficial

Para verificação do risco de condensação superficial, deve ser determinada a Temperatura da Superficial Mínima (\varnothing_{min}) dos componentes verticais e horizontais em contato com o meio exterior, particularmente para os meses de inverno,

Nota: Esta verificação só deve ser realizada nas regiões onde existam períodos de inverno que apresentam temperaturas mínimas inferiores a 15°C.

No Procedimento anterior foi determinada a **variação horária da temperatura superficial (\varnothing_h) da face interna dos componentes externos.**

Desse conjunto de informações, devem ser tomados os valores mínimos de \varnothing_h somente nos meses de inverno. Esses valores não devem ser iguais ou inferiores à temperatura de orvalho (T_o), determinada a partir da carta psicrométrica⁶⁵ típica da região, conforme exemplo que segue:

- para um ambiente com temperatura de 18°C e umidade relativa de 85% (ponto A no gráfico da Figura 65), a massa d'água contida no ar é de 13g/kg de ar seco;

- nessas condições, se nenhum vapor d'água for lançado ao ar, ocorrerá a condensação quando a umidade relativa atingir 100%, ou seja, quando a temperatura for reduzida à 15°C (ponto B do gráfico), sendo esta última a temperatura de orvalho (T_o);

- se, nesse ambiente, a temperatura superficial da parede ou cobertura atingir 15°C (ou menos), ocorrerá a condensação superficial.

⁶⁵ Para a construção da carta psicrométrica, pode ser utilizada a seguinte expressão:

$$m_v = 622 \cdot [P_{sat} / (P_{atm} - P_{sat})] \text{ (g/Kg), sendo:}$$

P_{atm} a pressão atmosférica local, em mmHg

P_{sat} a pressão de saturação correspondente ao valor da temperatura (T), e determinada por:

$$P_{sat} = 830.7 \cdot \exp(T \cdot 0.0553) \cdot 0.0075 \text{ (mmHg) para } T > 25^\circ\text{C}$$

$$P_{sat} = 663.5 \cdot \exp(T \cdot 0.0640) \cdot 0.0075 \text{ (mmHg) para } T \leq 25^\circ\text{C}$$

Cabe observar que a temperatura superficial dos componentes dependerá da temperatura do ar exterior e da resistência térmica dos mesmos.

Caso exista o risco de condensação superficial, o projetista deverá aumentar a resistência térmica dos componentes aumentando a espessura dos mesmos ou através da aplicação de isolantes .

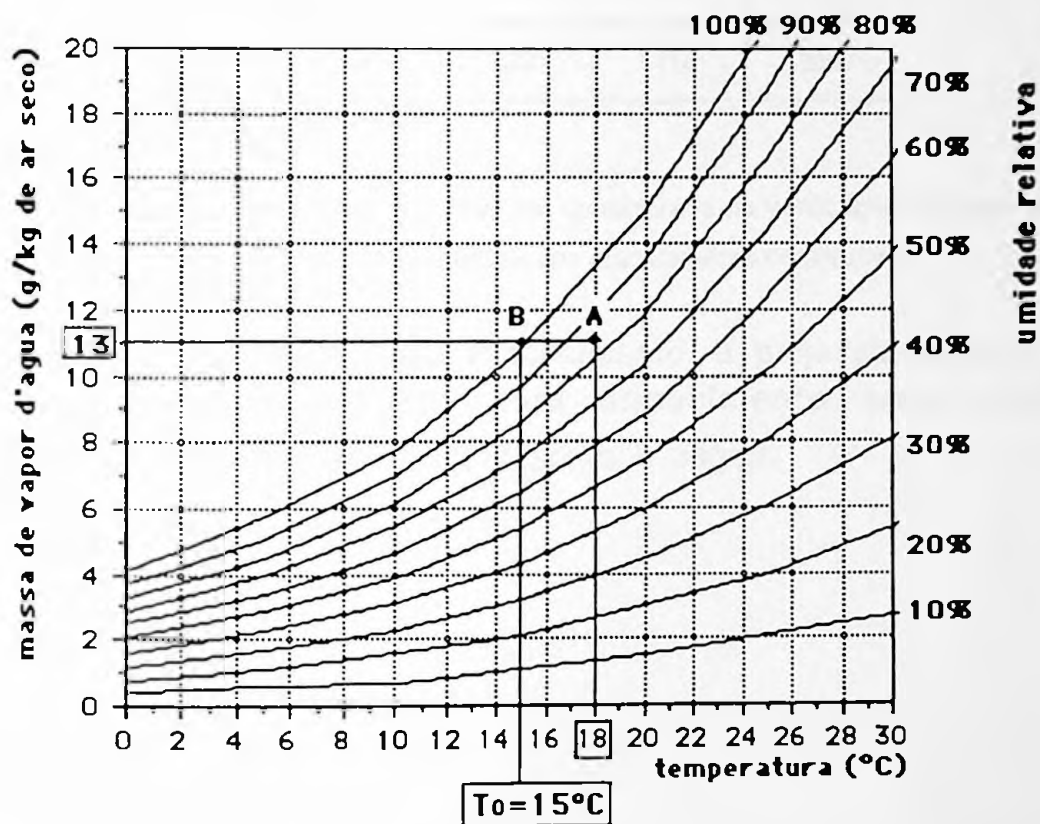


Figura 65: Carta psicrométrica com indicação da Temperatura de Orvalho (temperatura onde existe o risco da condensação d'água existente no ar

Para efeito de cálculo da temperatura de orvalho (T_0), deve ser computada a massa d'água que é lançada ao ar pelas pessoas (ou por eventuais equipamentos).

Nesses casos considerar as seguintes taxas de vapor (gramas/hora), por atividade , em função da temperatura ambiente:

Atividade	Taxa de vapor (g/h) gerada em função da temperatura ambiente			
	10°C	15°C	20°C	25°C
Repouso	36	36	45	66
Trabalho leve	54	72	110	175
Trabalho moderado	66	120	170	250

Fonte: BS 5250 (1975) (29)

Figura 66: Taxa de vapor que deve ser considerada na verificação do risco de condensação superficial dos componentes construtivos.

Terminada a aplicação deste Procedimento, o projetista deverá **estimar o consumo de energia elétrica para aquecimento e/ou resfriamento da edificação**. Esse Procedimento está descrito a seguir.

5. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA PARA CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL

Uma vez avaliado o desempenho térmico da edificação (projeto básico) o projetista já identificou os meses que exigirão o condicionamento artificial dos ambientes. Para esses meses será, então, necessário que estime qual será o consumo de energia elétrica para resfriar e/ou aquecer a edificação.

A estimativa do consumo de energia elétrica deve ser realizado mes a mes e pode ser otimizado através de modificações introduzidas:

- a. na orientação e geometria da edificação;
- b. nos componentes construtivos;
- c. na dimensão e proteção das aberturas (tipo de vidro, brise, cortinas);
- d. no sistema de iluminação artificial;
- e. na otimização da iluminação natural;
- f. na sistemática de uso e operação da edificação e seus ambientes.

Considerando que ao atingir esta etapa do trabalho o projetista já otimizou o desempenho térmico da edificação (aplicando o Procedimento PDT2, item 4.2.2), introduzindo as alterações necessárias, a estimativa do consumo de energia deverá ser realizada para o projeto já na sua fase de projeto executivo.

Dessa forma, as alterações que ainda devem ser feitas referem-se à otimização do projeto de iluminação artificial e à sistemática de uso e operação da edificação e seus ambientes, que podem ser sugeridas pelo projetista.

O item 5.1, que segue, discute os princípios gerais envolvidos na estimativa do consumo de energia elétrica para edificações condicionadas. O Procedimento para

estimar esse consumo está descrito em 5.2 .

5.1 Considerações Gerais

A metodologia utilizada para o cálculo do consumo de energia para condicionamento do ar baseou-se nos conceitos propostos por T. KUSUDA em "A VARIABLE-BASE DEGREE-DAY METHOD FOR SIMPLIFIED RESIDENCIAL ENERGY ANALYSIS" _ NBS / NATIONAL BUREAU OF STANDARDS _ USA / 1981 (30).

Em linhas gerais tal metodologia baseia-se nos seguintes conceitos:

- a condição térmica no interior da edificação é produto do balanço entre ganhos e perdas da carga térmica (proveniente do exterior e interior da edificação);

- dadas as características climáticas locais, as características construtivas da edificação e o uso da mesma, existe uma temperatura exterior de referência, denominada "temperatura de base", no qual os ganhos e perdas de carga térmica se anulam (observar que a temperatura de base está associada a temperatura de conforto interior desejada);

- quando a temperatura do ar exterior atinge o valor da temperatura de base o consumo de energia para condicionamento do ar é zero;

- o consumo de energia elétrica para condicionamento do ar é, portanto, proporcional à diferença entre a temperatura do ar exterior e a temperatura de base (diferenças positivas implicam em consumo de energia para resfriamento e diferenças negativas implicam em consumo de energia elétrica para aquecimento do ar).

Com relação a aplicação da metodologia descrita acima cabe ressaltar que:

- a. apesar dos valores de consumo de energia elétrica para condicionamento do ar obtidos com a aplicação da mesma terem sido compatíveis com aqueles citados por pesquisadores que obtiveram dados de consumo de energia para resfriamento em edifícios⁶⁶ já construídos;

b. ter ampla utilização em vários países do mundo,

cabe ressaltar que tal metodologia permite que se obtenha resultados (consumo de energia elétrica para condicionamento) com um grau de precisão que poderia ser aumentado, na medida em que não considera a capacidade térmica da edificação.

As discussões em torno dessa questão, pelo menos até 1986, em Congresso realizado em Genebra - Third International Congress on Building Energy Management (1986) levaram ao consenso que , a não consideração dessa variável (capacidade térmica da edificação), não comprometia os resultados obtidos. Se a tal constatação acrescentar-se o fato que o Brasil não tem tradição em estimar o consumo de energia de suas edificações, pode-se considerar satisfatória, para um primeiro momento, a adoção de uma metodologia simplificada.

Ressalte-se que entre os pesquisadores⁶⁷ que atuam nessa área, no Brasil, os modelos matemáticos mais complexos e de maior precisão para estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento vem sendo objeto de estudo e de aplicação.

Nota: A inclusão da variável Capacidade Térmica na metodologia aqui proposta pode ser realizada, mas implica em aumento do número de interações matemáticas, o que praticamente inviabiliza sua aplicação sem os recursos da informática.

⁶⁶ Esses resultados foram obtidos por Lomardo, L.L.B(1986)(50).

⁶⁷ Destaque-se entre tais pesquisadores aqueles vinculados à UFSC-Universidade Federal de Santa Catarina e os pesquisadores do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo

5.2 Procedimentos para Estimar o Consumo de Energia Elétrica para Condicionamento (PCEC)

Objetivo:

Determinar o **consumo de energia elétrica** para aquecimento e/ou resfriamento dos ambientes da edificação, nos períodos durante os quais o condicionamento artificial é utilizado.

Dados necessários:

1. Identificação dos meses que podem **dispensar** o condicionamento artificial (esta informação foi obtida em 3.2).(Ver Figuras 33 e 36);
2. Variação mensal da **temperatura do ar (máxima e mínima)**, para os meses identificados no item anterior.(Ver Figura 10);
3. Variação mensal da **umidade do ar (máxima e mínima)**,para os meses identificados no item 3.2.1(Ver Figura 7).
4. Variação mensal da **radiação solar**, para os meses identificados no item anterior.(Ver Figura 18);
5. Valores aceitáveis para a temperatura máxima e mínima (condições de conforto térmico), identificadas no Procedimento PDT1, item 4.2.1.
6. Dados relativos ao projeto básico que vai ser avaliado.
7. Dados relativos às características térmicas dos materiais e componentes construtivos (Consultar Figura B.4 do Anexo B).

Procedimentos⁶⁸

5.2.1 Determinação das Condições de Conforto (PCEC1)

A determinação das **Condições de Conforto** a serem adotadas, para os períodos de verão e inverno, deve ser feita através das variáveis **temperatura, umidade relativa e ventilação**. O item A, que segue, indica o Procedimento para a identificação da **temperatura de conforto** que deve ser adotada para condicionamento artificial dos ambientes.

A. Temperatura de Conforto:

Adotar os limites de conforto L_s e L_i identificados para a região onde se executará a edificação, determinados no item 4.2.1.

Nota: Os limites de conforto aqui sugeridos estão justificados em 5.1. Levam em conta não só a economia de energia que pode ser conseguida com a adoção dos mesmos, mas também os aspectos de aclimação dos usuários.

Exemplo: Para a cidade de Recife os limites de conforto foram estabelecidos em: 27.5°C e 23.5°C (umidade relativa de 50%), no item 4.2.1, Procedimento PDT1.

B Condições de Ventilação:

Para as condições de **ventilação**, adotar os valores recomendados pela **NB 6401/1978** e que estão parcialmente reproduzidos a seguir:

⁶⁸ Cada um dos procedimentos tem sua aplicação exemplificada com dados típicos da cidade de Recife.

Local	3 m ³ /h/pessoa		Concentração de fumantes
	recomendável	mínimo	
Bancos	17	13	ocasional
Escritórios Públicos	25	17	alguns
Escritórios Privados	42	25	nenhum
Escritórios Privados	51	42	considerável
Lojas	17	13	ocasional
Residências	35	17	alguns
Salas de Aula	50	40	nenhum
Salas de Reuniões	85	50	muito grande
Aplicações em Geral			
Por pessoa (não fumando)	13	8	—
Por pessoa (fumando)	68	42	—

Extraído da NBR 6401/1978

Figura 67: Taxa de ventilação a ser adotada em ambientes condicionados artificialmente.

5.2.2. Estimativa do Consumo de Energia Elétrica(PCEC2)

A estimativa para determinar o consumo de energia elétrica para condicionamento (CEE) deve ser feito para os meses selecionados no Procedimento PDC2, item 3.2.2, utilizando a seguinte expressão:

$$CEE = \sum GH * K * N_h * N_d / 1000 \quad (\text{kWh/mes}) \quad (\text{Eq 75})$$

sendo,

$\sum GH$ = soma dos grau-hora calculados a partir da Equação 76, ou utilizando gráfico já construído para a região (o gráfico da Figura 75 está construído para a cidade de Recife, no exemplo de aplicação abaixo):

$$\sum GH = \sum (T_{med} - T_b)^{69} \quad (^\circ\text{Ch}) \quad (\text{Eq 76})$$

sendo,

T_{med} = temperatura média mensal do ar exterior

T_b = Temperatura de Base que expressa a temperatura na qual o ganho de calor é igual à perda de calor pela edificação e que deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$T_b = T_c - (q/k) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq 77})$$

sendo,

T_c = temperatura de conforto adotada para a região (ver Procedimento PCEC1, item 5.2.1)

q = ganho de calor devido à radiação solar e devido às fontes internas (pessoas, equipamentos e sistema de iluminação) a partir da seguinte Equação:

$$q = q_{op} + q_{vd} + q_p + q_{si} \quad (\text{W}) \quad (\text{Eq 78})$$

sendo,

$$q_{op} = \sum (U * A * \alpha_f * R_g / h_e) \quad (\text{W}) \quad (\text{Eq 79})$$

q_{op} = somatória do ganho de calor devida a radiação solar, pelos componentes opacos

U = coeficiente de transmitância térmica de cada um dos componentes (paredes exteriores, cobertura, portas, janelas) (Ver Equação 50a)

A = área dos dos componentes opacos

R_g = radiação solar média diária, para o mes em estudo (W/m^2) (Ver Figura 18)

h_e^{70} = condutância superficial ($\text{W/m}^2\text{C}$) (Ver Figura B.3 do Anexo B)

⁶⁹ Se o valor de $(T_o - T_b)$ é positivo está indicada a necessidade de resfriamento do ambiente. Se negativo, o valor absoluto da diferença indica a necessidade de aquecimento do ambiente.

α_f = coeficiente de absorção à radiação solar (função da cor externa do componente) (Ver Figura B.2 do Anexo B). Devem ser considerados todos os componentes externos.

$$Q_{vd} = \sum (A_v \cdot F_s \cdot R_g) \quad (W) \quad (Eq \ 80)$$

Q_{vd} = somatória do ganho de calor devido à radiação solar pelos componentes envidraçados

A_v = área das aberturas (com ou sem vidros)

F_s = fator solar da área envidraçada (Ver Figura B.5 do Anexo B)

$$Q_p = (n_p \cdot t_{pc} \cdot t_{up}) / 24 \quad (W) \quad (Eq \ 81)$$

Q_p = ganho de calor devido à presença das pessoas

n_p = número de pessoas presentes no ambiente

t_{pc} = taxa de produção de calor, que depende da atividade realizada pelos usuários (Ver item 4.2.1, Sub-item A)

t_{up} = tempo de utilização (nº de horas que os usuários permanecem presentes)

$$Q_{si} = (n_l \cdot pot \cdot t_{ul}) / 24 \quad (W) \quad (Eq \ 82)$$

Q_{si} = ganho de calor devido ao sistema de iluminação

n_l = número de lâmpadas acesas

pot = potência das lâmpadas utilizadas

t_{ul} = tempo de utilização (nº de horas que as lâmpadas permanecem ligadas)

K = perda de calor por transmissão (através dos componentes verticais e horizontais) e por ventilação .

$$K = \sum (U \cdot A) + Q_v \quad (W/^\circ C) \quad (Eq \ 83)$$

U e A já definidos acima;

Q_v = taxa de troca térmica devida à ventilação, calculada segundo a equação 84, abaixo:

$$Q_v = 0.35 \cdot N \cdot V \quad (W/^\circ C) \quad , \text{ sendo} \quad (Eq \ 84)$$

N = o número de renovações de ar por hora (Ver Figura 67)

V = o volume do ambiente analisado, em m^3 .

N_h = período de utilização da edificação durante o dia (ou período do dia durante o qual o sistema de ar condicionado deverá permanecer ligado)

N_d = número de dias no mes que a edificação será utilizada

Comentários:

1. A estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento do ambiente pode ser realizado com diferentes graus de precisão. Se o projetista optar

⁷⁰ O valor de h_e recomendado pela ASHRAE(11) é de 34.08 W/m²°C, qualquer que seja a posição do componente.

por um cálculo mais preciso (e mais trabalhoso), poderá utilizar , na Equação 76, em lugar da temperatura média mensal(T_{med}) os valores horários da temperatura (T_h), mes a mes. Neste caso deverá computar apenas os valores de GH correspondentes aos horários durante o qual o condicionamento artificial permanecer ligado.

A Equação 76, ficará:

$$\Sigma GH = \Sigma (T_h - T_b) (\text{°Ch}) \quad (\text{Eq 85})$$

A determinação do valor horário da temperatura (T_h) pode ser feito através da seguinte Equação:

$$T_h = T_{max} - (T_{max} - T_{min}) * j \quad (\text{°C}) \quad (\text{Eq 86})$$

sendo.

T_{max} = Temperatura máxima do mes (ver item 3.2, Figura 10)

T_{min} = Temperatura mínima do mes (ver item 3.2, Figura 10)

j^{71} = valor de ajuste da curva horária de temperatura , que deve assumir, hora a hora,

os seguintes valores:

$j = 0.75, 0.78, 0.82, 0.87, 0.89, 0.96, 1.00, 0.93, 0.76, 0.57, 0.41, 0.28, 0.15, 0.11, 0.02, 0.00, 0.04, 0.08, 0.15, 0.46, 0.56, 0.64, 0.73, 0.70, \dots$ tomando-se o primeiro valor(0.75) para às zero horas e assim sucessivamente.

A título de exemplo, observar, para o mes de janeiro, em Recife as duas alternativas de cálculo (com temperatura média mensal e temperatura horária) para o consumo de energia elétrica, aplicadas ao projeto descrito na Alternativa 1 (Ver Figura 48):

1º caso :

Cálculo de CEE utilizando o valor médio mensal de temperatura do ar exterior:

a. considerando que para o mes de janeiro, a relação q/K (Equações 78 e 83) para a Alternativa 1 é igual a 9.9 °C ;

⁷¹ Valores de "j" sugeridos pelo IPT (17). Alguns autores preferem ajustar os valores de "j" em função das temperaturas horárias (máximas e mínimas) registradas em cada região. Para efeito deste trabalho, o valor proposto pelo IPT foi considerado satisfatório.

b. que a temperatura média (T_{med}) para o mes de janeiro, em Recife é de 27.1°C (Ver Figura 45);

c. que o limite superior de conforto (L_s) (Ver item 4.2.1, Procedimento PDT1), para Recife, foi determinado em 27.5°C , e que portanto essa será a temperatura de operação do sistema de condicionamento artificial;

d. que a perda de calor por transmissão e ventilação para o projeto em questão é de $2459\text{W}/^{\circ}\text{C}$ (Equação 83);

a temperatura de base (T_b), o ΣGH e o consumo de energia (CEE), no mes de janeiro, serão:

$$T_b = T_c - q/K = 27.5 - 9.9 = 17.6 \text{ } (^{\circ}\text{C}) \text{ (aplicação da Equação 77) } \textit{temp de base}$$

$$\Sigma GH = T_{med} - T_b = 27.1 - 17.6 = 9.5 \text{ } (^{\circ}\text{Ch}) \text{ (aplicação da Equação 76)}$$

$$CEE = 9.5 * 2459 * 10 * 22 / 1000 = 5139 \text{ kWh/mes} \text{ (aplicação da Equação 75)}$$

$$\textit{= } 9.5 * K * N_d * N_d / 1000$$

2º caso :

Cálculo de CEE utilizando o valor horário da temperatura do ar exterior e computando apenas o horário das 8h às 18h:

a. considerando que para o mes de janeiro, a relação q/K para a Alternativa 1 é igual a 9.9°C ;

b. que a temperatura máxima (T_{max}) para o mes de janeiro é de 30.8°C e a temperatura mínima (T_{min}) é de 23.4°C , para a cidade de Recife (Ver Figura 45);

c. que o limite superior de conforto (L_s), para Recife, foi determinado em 27.5°C , e que portanto essa será a temperatura de operação do sistema de condicionamento artificial;

d. que a perda de calor por transmissão e ventilação para o projeto em questão é de $2459\text{W}/^{\circ}\text{C}$;

os valores horários para T_h , T_b , ΣGH e CEE , para o mes de janeiro, em Recife, serão:

Recife		$T_c=27.5^\circ C$			
Janeiro		$q/K=9.9^\circ C$			
hora	$j (^\circ)$	$T_h (^\circ C)$	$T_b (^\circ C)$	$GH (^\circ C)$	$CCE (kWh)$
0	0.75	25.3	15.4	12.1	30
1	0.78	25	15.1	12.4	30
2	0.82	24.7	14.8	12.7	31
3	0.87	24.4	14.5	13	32
4	0.89	24.2	14.3	13.2	32
5	0.96	23.7	13.8	13.7	34
6	1	23.4	13.5	14	34
7	0.93	23.9	14	13.5	33
8	0.76	25.2	15.3	12.2	30
9	0.57	26.6	16.7	10.8	27
10	0.41	27.8	17.9	9.6	24
11	0.28	28.7	18.8	8.7	21
12	0.15	29.7	19.8	7.7	19
13	0.11	30	20.1	7.4	18
14	0.02	30.7	20.8	6.7	16
15	0	30.8	20.9	6.6	16
16	0.04	30.5	20.6	6.9	17
17	0.08	30.2	20.3	7.2	18
18	0.15	29.7	19.8	7.7	19
19	0.46	27.4	17.5	10	25
20	0.56	26.7	16.8	10.7	26
21	0.64	26.1	16.2	11.3	28
22	0.73	25.4	15.5	12	30
23	0.74	25.3	15.4	12.1	30
CEE das 8 às 18h=				225 kWh/dia	
Total em 22 dias=				4950 kWh/mes	

Figura 68: Estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial para o ambiente descrito na Figura 48, em janeiro, na cidade de Recife.

Nota: Os valores em "bold" correspondem aos horários de ocupação do ambiente: 8 às 18h

Somente esses valores são computados no cálculo do consumo de energia.

Portanto, ao comparar os resultados (consumo) obtidos no 1º (5139 kWh) e 2º (4950 kWh) casos descritos anteriormente, pode-se observar que a utilização da temperatura média mensal (1º caso) superestima o consumo de energia elétrica no mes em aproximadamente 4% do seu valor.

Considera-se aceitável o cálculo de CEE com o valor da temperatura média mensal, sempre que o projetista não necesite de maior precisão

nos cálculos.

Para os demais meses do ano, utilizando o valor da temperatura média mensal, o consumo de energia elétrica (CEE) para resfriamento do ambiente descrito na Alternativa 1 (Ver Figura 48), seria aquele descrito no Quadro da Figura 69.

Considerando que o valor acumulado nos 12 meses será de 49500 kWh (Ver Figura 69), a média mensal seria de 4125kWh, o que corresponderia a um consumo de 20.6 kWh/m² mes (por metro quadrado, ao mes). Para efeito de comparação observar os Quadros das Figuras 70, 71 e 72 que indicam qual seria consumo medio mensal para as Alternativas 2, 3 e 4, descritas nas Figuras 49,50, e 51, respectivamente.

K=2459 W/°C						
Tc=27.5°C						
Recife		Alternativa 1	Tb= Tc-(q/k)	GH=Tb-Tmed		
mes	Tmed	q/K (°C)(*)	Tb	GH (°C)		CEE(kWh/mes)
1	27.1	9.9	17.6	9.5		5139
2	27.2	9.4	18.1	9.1		4923
3	27.2	9	18.5	8.7		4707
4	27	8.3	19.2	7.8		4220
5	26.1	7.7	19.8	6.3		3408
6	25.4	7.3	20.2	5.2		2813
7	24.8	7.5	20	4.8		2597
8	25.2	8.6	18.9	6.3		3408
9	25.3	9.1	18.4	6.9		3733
10	26.2	9.5	18	8.2		4436
11	26.4	10.2	17.3	9.1		4923
12	27.1	10	17.5	9.6		5193
					Total/ano=	49500 kWh
(*)Taxa de renovação de ar=3.5 m3/h, segundo NB 6401						
Tmed (°C)= Temperatura média mensal						
Tb (°C)= Temperatura de Base						
GH (°Ch)=Graus Hora						
CEE (kWh/mes)=Consumo de energia elétrica para resfriamento, no período de 22 dias, 10 horas por dia.						
Alternativa 1		Média mensal/m2=			20.6 kWh/m2	

Figura 69: Estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial para o ambiente descrito na Figura 48, no período de 1 (hum) ano, na cidade de Recife.

K=2459 W/°C
Tc=27.5°C

Recife		Alternativa 2	Tb= Tc-(q/k)	GH=Tb-Tmed	
mes	Tmed	q/K (°C)(*)	Tb	GH (°C)	CEE(kWh/mes)
1	27.1	8.6	18.9	8.2	4436
2	27.2	7.8	19.7	7.5	4057
3	27.2	7.3	20.2	7	3787
4	27	6.6	20.9	6.1	3300
5	26.1	6.3	21.2	4.9	2651
6	25.4	6	21.5	3.9	2110
7	24.8	6.1	21.4	3.4	1839
8	25.2	6.9	20.6	4.6	2489
9	25.3	7.3	20.2	5.1	2759
10	26.2	7.9	19.6	6.6	3570
11	26.4	8.8	18.7	7.7	4166
12	27.1	8.9	18.6	8.5	4598
				Total/ano=	39762
(*)Taxa de renovação de ar=3.5 m3/h, segundo NB 6401					
Tmed (°C)= Temperatura média mensal					
Tb (°C)= Temperatura de Base					
GH (°Ch)=Graus Hora					
CEE (kWh/mes)=Consumo de energia elétrica para resfriamento, no período de 22 dias, 10 horas por dia.					
Alternativa 2		Média mensal/m2=			16.6 kWh/m2

Figura 70: Estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial para o ambiente descrito na Figura 49, no período de 1 (hum) ano, na cidade de Recife.

K=1873 W/°C
Tc=27.5°C

Recife		Alternativa 3	Tb= Tc-(q/k)	GH=Tb-Tmed	
mes	Tmed	q/K (°C)(*)	Tb	GH (°C)	CEE(kWh/mes)
1	27.1	9.6	17.9	9.2	3791
2	27.2	8.6	18.9	8.3	3420
3	27.2	8	19.5	7.7	3173
4	27	7.3	20.2	6.8	2802
5	26.1	7	20.5	5.6	2308
6	25.4	6.8	20.7	4.7	1937
7	24.8	6.9	20.6	4.2	1731
8	25.2	7.6	19.9	5.3	2184
9	25.3	8.1	19.4	5.9	2431
10	26.2	8.7	18.8	7.4	3049
11	26.4	9.8	17.7	8.7	3585
12	27.1	9.9	17.6	9.5	3915
				Total/ano=	3 4 3 2 6
(*)Taxa de renovação de ar=3.5 m3/h, segundo NB 6401					
Tmed (°C)= Temperatura média mensal					
Tb (°C)= Temperatura de Base					
GH (°Ch)=Graus Hora					
CEE (kWh/mes)=Consumo de energia elétrica para resfriamento, no período de 22 dias, 10 horas por dia.					
Alternativa 3		Média mensal/m2=			14.3 kWh/m2

Figura 71: Estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial para o ambiente descrito na Figura 50, no período de 1 (hum) ano, na cidade de Recife.

K=1451 W/°C
Tc=27.5°C

Recife		Alternativa 1	Tb= Tc-(q/k)	GH=Tb-Tmed	
mes	Tmed	q/K (°C)(*)	Tb	GH (°C)	CEE(kWh/mes)
1	27.1	4	23.5	3.6	1149
2	27.2	3.9	23.6	3.6	1149
3	27.2	3.8	23.7	3.5	1117
4	27	3.6	23.9	3.1	990
5	26.1	3.5	24	2.1	670
6	25.4	3.5	24	1.4	447
7	24.8	3.7	23.8	1	319
8	25.2	3.7	23.8	1.4	447
9	25.3	3.8	23.7	1.6	511
10	26.2	3.9	23.6	2.6	830
11	26.4	4.1	23.4	3	958
12	27.1	4.1	23.4	3.7	1181
				Total/ano=	9768 kWh
(*)Taxa de renovação de ar=3.5 m3/h, segundo NB 6401					
Tmed (°C)= Temperatura média mensal					
Tb (°C)= Temperatura de Base					
GH (°Ch)=Graus Hora					
CEE (kWh/mes)=Consumo de energia elétrica para resfriamento, no período de 22 dias, 10 horas por dia.					
Alternativa 4		Média mensal/m2=			4.1 kWh/m2

Figura 72: Estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial para o ambiente descrito na Figura 51, no período de 1 (hum) ano, na cidade de Recife.

Nota: Observar que para a **Alternativa 4**, a avaliação de desempenho realizada no item 4.2.1, demonstrou que para o mes de maio o condicionamento pode ser dispensado, pois a temperatura interna máxima sem condicionamento foi de 27.4 °C, com taxa de renovação de 6V/h.

Para efeito de comparação, observar no gráfico da Figura 73 o consumo de energia elétrica para condicionamento, no período de 1(hum) ano, em Recife, para as **4 Alternativas**.

A Figura 74 indica a mesma comparação entre o consumo para as 4 Alternativas, em kWh/mes m².

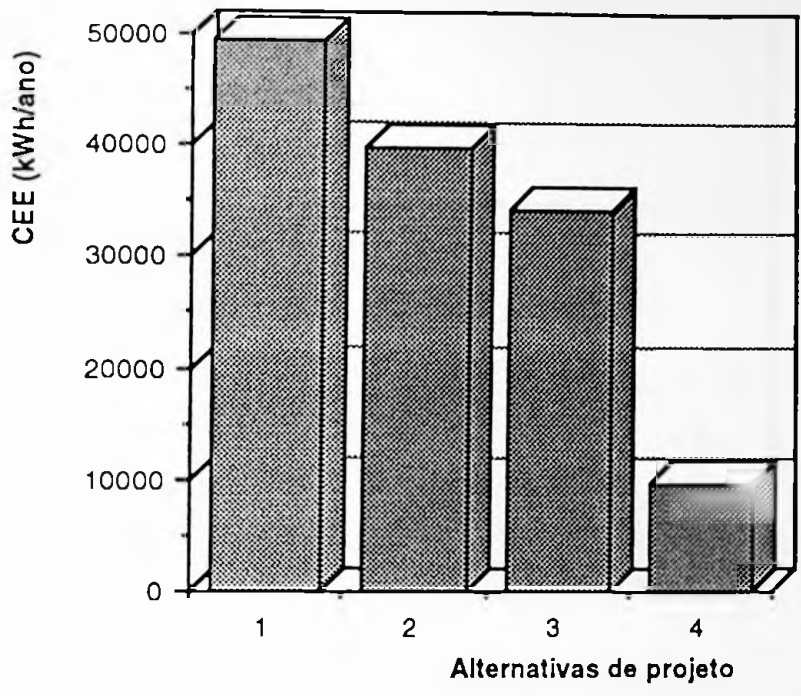


Figura 73: Gráfico comparativo entre o consumo de energia elétrica para condicionamento, estimado durante o período de um ano, para as Alternativas descritas nas Figuras 48,49 ,50 e 51

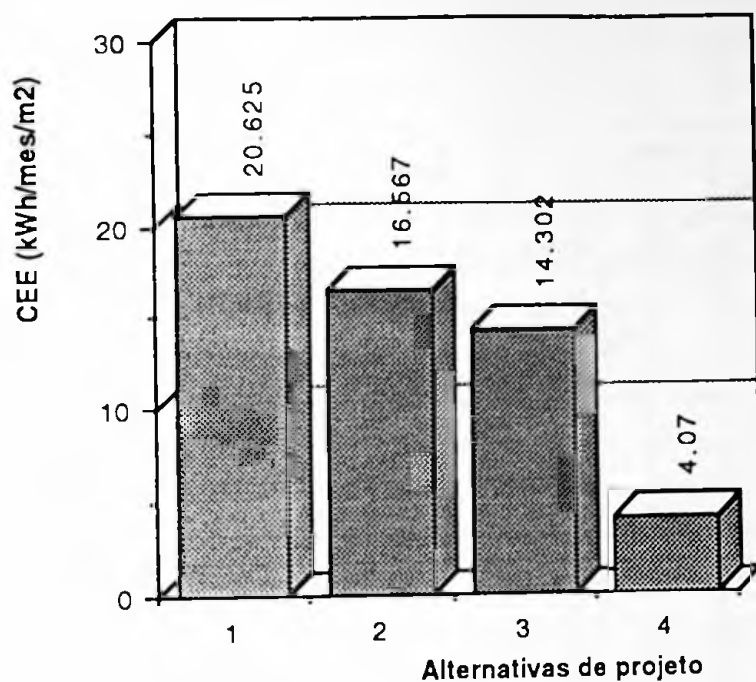


Figura 74: Idem gráfico da Figura anterior, em kWh/mes m².

Comentário:

A determinação de GH (Gráus-Hora)(determinado pela Equação 76 pode ser feito a partir do gráfico da Figura 75, abaixo, que já está construído para a cidade do Recife.

Para utilização do referido gráfico, o projetista deve determinar o valor de q/K e identificar o valor de GH na curva correspondente a cada um dos meses. O exemplo abaixo reúne o valor de GH para os meses de abril, maio e junho, para a cidade de Recife..

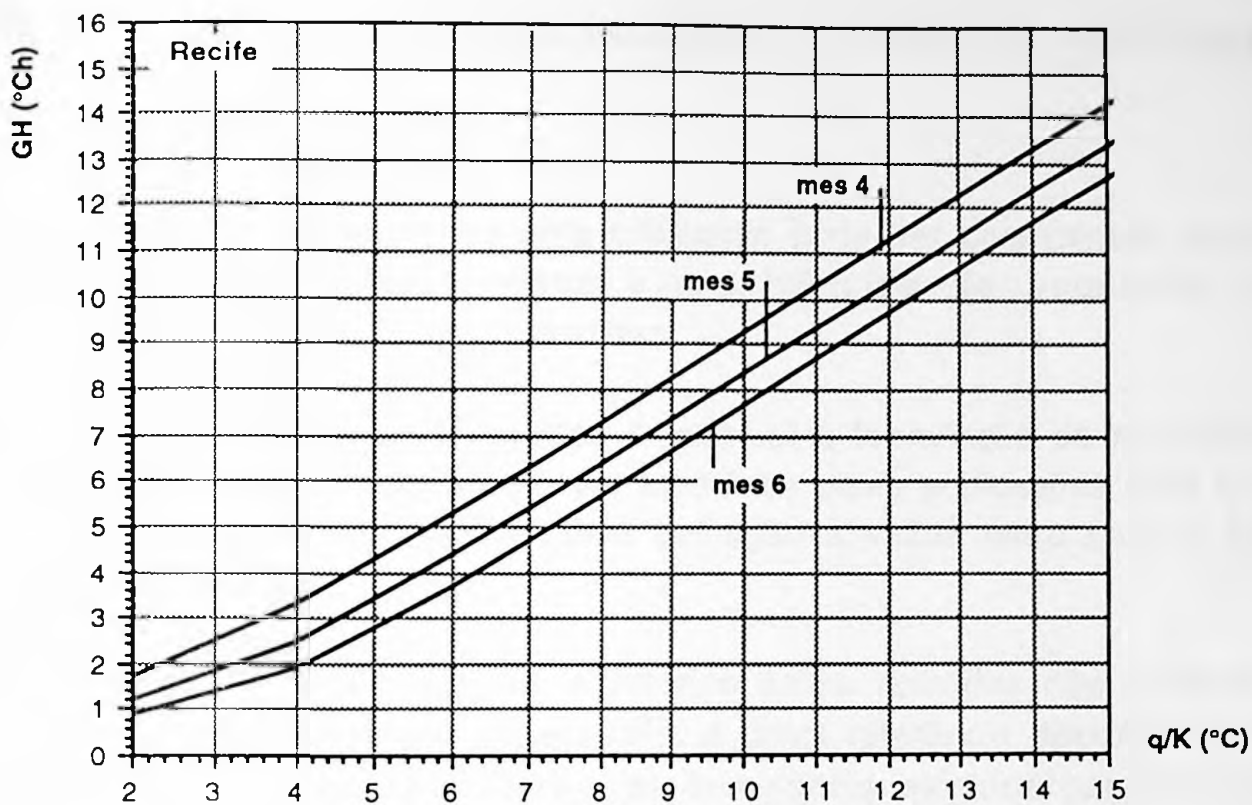


Figura 75: Gráfico para determinação imediata de GH, em função da relação q/K.

A aplicação deste Procedimento (estimativa do consumo de energia elétrica para condicionamento artificial) deve ser seguido do Procedimento para estimativa do consumo de energia elétrica para iluminação artificial dos ambientes. Esse Procedimento está descrito em 6.2.

6. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO NATURAL DA EDIFICAÇÃO

6.1 Considerações gerais

O desempenho luminoso de uma edificação pode ser considerado satisfatório se as exigências de conforto visual e as exigências de economia de energia elétrica⁷² dos usuários forem atendidas.

Com base nessas duas exigências é possível a formulação de requisitos e critérios de desempenho que devem ser atendidos pelas edificações para que a mesma possa ser considerada satisfatória. Esta definição é válida tanto para a iluminação artificial como natural.

No entanto, aqueles requisitos e critérios acima referidos não constam de nenhum documento normativo brasileiro⁷³. A única referência disponível é a NBR 5413(1982)⁷⁴, que estabelece níveis de iluminância exigidos para diferentes tipos de atividade, mas destinados à iluminação artificial.

Dentre os países que hoje dispõe de normas específicas para a iluminação natural, destacam-se a Alemanha (DIN 503-1985) e Inglaterra (BSI DD 73-1982), cujos documentos são bastantes completos e abordam inclusive aspectos psico-físicos da iluminação. Em relação às referidas Normas, observar:

DIN 5034 (1982)-*Luz Natural em Interiores*

a. se destina especificamente à iluminação natural, mas toma como referência os valores de iluminância fixados para iluminação artificial(DIN 5035);

b. considera os aspectos psico-físicos da iluminação;

⁷²Energia elétrica para iluminação artificial dos ambientes da edificação.

⁷³Em 1987, o COBEI-Comite Brasileiro de Iluminação Natural criou a Comissão de Iluminação Natural, com o objetivo de normalizar o assunto.

⁷⁴A NBR 5413-Iluminação de Interiores baseou-se no Documento IES-Lighting Handbook, reproduzindo exatamente os níveis aí propostos. Ressalte-se que a normalização americana estabelece níveis três vezes superiores àqueles estabelecidos pelas normas européias. Existe, hoje, consenso no próprio COBEI, que a NBR 5413 deve ser revista.

- c. os níveis de iluminância são estabelecidos através do Fator de Luz Diurna (FLD⁷⁵ em %);
- d. limita as superfícies ofuscantes;
- e. limita a refletância das superfícies ofuscantes;
- f. os níveis de iluminância estabelecidos correspondem a **60% dos níveis propostos para a iluminação artificial.**
- g. indica métodos de cálculo para caracterização da abóboda celeste a partir da dados de radiação solar ;

BSI DD 73(1982)- *Basic Data for the Design of Buildings: Daylight*

- a. se destina especificamente à **iluminação natural**;
- b. partindo do pressuposto que a iluminação ainda é um campo de estudo em desenvolvimento, essa Norma é apresentada como um "guia" para o desenvolvimento do projeto arquitetônico;
- c. os valores de iluminância são recomendados considerando duas hipóteses:
 - ambientes iluminados exclusivamente com luz natural,e
 - ambientes iluminados com luz natural complementada com iluminação artificial.
- d. além dos níveis de iluminância, propõe limites para razão de uniformidade;
- e. limita a relação "*área de abertura : área de parede*", em função da profundidade do ambiente (este recurso pretende garantir o contato visual com o meio exterior);

⁷⁵O FLD(Fator de Luz Diurna), expressa a relação entre a iluminância no plano de trabalho (Eg) e a iluminância em plano horizontal (Eh) exterior, desobstruído. (Ver Equação 73).

f. essa Norma trata apenas da iluminação natural tendo a abóbada celeste como fonte de luz; a radiação solar como fonte de luz e é tratada em outro

documento: **BSI DD 63(1980): Basic Data for Design of Buildings: Sunlight**

g. na formulação da Norma já está incorporada a preocupação com a economia de energia.

Além das Normas acima mencionadas, pode-se citar a Norma Argentina: **IRAM-AADL J 20-02 (1969)**, que trata especificamente da iluminação natural e faz referência à complementação com iluminação artificial. Nesse Documento pode-se observar:

a. os níveis de iluminância são estabelecidos através do Fator de Luz Diurna (**FLD** em %), para quatro tipos de tarefa visual, classificados segundo grau de dificuldade; os valores mínimos são estabelecidos para habitação, indústrias, oficinas, e hospitais;

b. para dimensionamento de janelas, remete à Norma **IRAM-AADL J 20-03**;

c. os valores mínimos de **FLD** que são estabelecidos não consideram o efeito da radiação solar direta;

d. indica método de cálculo para determinação do **FLD**;

e. a própria Norma informa que deverão ser introduzidas modificações a partir dos resultados dos estudos que vem sendo realizados no **IRAM**.

Praticamente toda Documentação técnica ou normativa produzida na área da iluminação natural considera a orientação formulada pelo **CIE-Comission Internationale de L'Eclairage**, entidade internacional que congrega e orienta as distintas instituições normativas de todo o mundo.

Um documento obrigatório para qualquer estudo relativo à iluminação natural é a publicação **CIE- nº 16 (E-3.2) de 1970**, que analisa os métodos de cálculo adotados por 14 países e comenta suas limitações e/ou vantagens.

A consulta a essa extensa documentação traz, com certeza, dados e métodos de cálculo que podem ser adotados.

No entanto, na medida que dados de luminância típicos para o céu brasileiro não existem, e mesmo dados secundários, como os de radiação solar são raros, qualquer alternativa adotada para a avaliação do desempenho luminoso natural de edificações em território brasileiro deverá ser vista com restrições, ou no mínimo, como uma aproximação aceitável, até que formulações precisas sejam normalizadas.

Dessa forma, neste trabalho optou-se por:

- a. por tomar como referência a **Norma NBR 5413(1982)** já incorporada pelos projetistas na determinação dos níveis de iluminância adequados à cada atividade;
- b. adotar o método de cálculo proposto pela norma **Din 5034** para determinação da iluminância em plano horizontal desobstruído(caraterização da abóboda celeste como fonte de luz), adotando o tipo de céu encoberto (overcast) (a aplicação dessa metodologia deu origem ao gráfico da Figura 25);
- c. propor uma metodologia para identificar a frequência de ocorrência dos vários níveis de iluminância em plano horizontal de modo que o projetista possa optar pela "eficiência " que desejar (Ver item 3.2.1, Figuras 26 e 27);
- d. adotar o método de cálculo proposto pelo CIE para determinação do **FLD** no interior dos ambientes;

No exposto acima, pode-se observar que o **único critério** para a avliação do desempenho luminoso de uma edificação proposto neste trabalho é o **FLD**(Fator de Luz Diurna), que garante o nível mínimo de iluminância no plano de trabalho. No entanto, qualquer regulamentação que pretenda tratar da questão deveria abordar os seguinte requisitos:

Requisito nº 1 - A iluminação dos ambientes deve ser realizada preferencialmente com luz natural de modo que:

- a. o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial seja o mínimo possível (durante o dia e durante o ano);
- b. o ganho de luz natural não implique em ganho excessivo de carga térmica;

Requisito nº 2 - A quantidade de luz disponível no ambiente deve ser suficiente para a realização da atividade à qual se destina o mesmo, e adequadamente distribuída.

Requisito nº 3 - A visão do céu através das aberturas iluminantes não deve ser motivo de desconforto para os usuários.

Requisito nº 4 - O contato visual do usuário com o meio exterior deve ser garantido a partir do maior número possível de posições na área destinada ao trabalho.

Enquanto metodologia, a proposta contida neste trabalho para avaliação do desempenho luminoso natural das edificações poderá ser útil para a verificação de alguns dos requisitos sugeridos acima, assim que o mesmos forem objeto de Norma.

16.2 Procedimentos para Avaliar o Desempenho Luminoso Natural da Edificação (PDL)

Os procedimentos para avaliar o desempenho luminoso natural da edificação devem ser aplicados quando o projetista já dispõe do **projeto básico**, ou seja, na fase em que as principais decisões já foram tomadas mas o projetista ainda está disposto a introduzir modificações.

Tal avaliação consiste em verificar qual a **eficiência da iluminação natural** para cada um dos ambientes, identificando assim qual será o período do ano que será possível **tirar partido da iluminação natural**. Essa informação permitirá :

- a. informar o **projetista do sistema de iluminação artificial** sobre as áreas que deverão ser iluminadas artificialmente e qual a distribuição mais adequada para localização das luminárias e os respectivos circuitos de acionamento;
- b. estimar o **consumo de energia elétrica** decorrente do uso do sistema de iluminação artificial, durante o ano.

Ao iniciar o processo da **avaliação do desempenho luminoso natural** da edificação ainda na fase do projeto básico, o projetista já estará de posse das seguintes informações:

- a. o resultado do "Diagnóstico Climático" **relativo às condições de iluminação típica da região**, ou seja a **distribuição da frequência de ocorrência dos níveis de iluminância do céu da região** (Figura 26);
- b. o **nível de iluminância recomendado pela Norma Brasileira (NBR 5413)**, determinado em função das atividades que irão se realizar nos vários ambientes (Ver item 3.2.1, Figura 29);
- c. a **eficiência da iluminação natural "desejada"** (esta decisão foi tomada no momento de concepção do projeto, quando foi necessário optar pela geometria da edificação⁷⁶ (Ver Figura 29);

d. as características básicas do projeto arquitetônico: orientação, dimensões, materiais, cores, acabamentos;

e. as características das obstruções do entorno.

A avaliação do desempenho luminoso natural da edificação, a partir das informações listadas acima, deve então ser feita em 5 (cinco) Etapas (Ver fluxograma correspondente à realização das Etapas na Figura 2) :

Essas etapas correspondem aos procedimentos descritos neste item e recebem a denominação de PDL1, PDL2 e PDL3.

Etapa 1: Definir as condições de conforto luminoso (nível de iluminância) adequado para a realização das tarefas a que se destinam os ambientes (Ver item 6.2.1, Procedimento PDL1)

Nota: Esta definição já foi feita se o projetista considerou as recomendações para dimensionamento da geometria da edificação (Ver Figura 29)

Etapa 2: Estimar o FLD médio (Fator de Luz Diurna) no centro geométrico da sala⁷⁷ (Ver item 6.2.2, Procedimento PDL2)

Nota: Ficará a critério do projetista a avaliação do desempenho luminoso do ambiente para o ponto localizada junto à parede do fundo

Etapa 3: Estimar a eficiência luminosa (EFC) da abertura (Ver item 6.2.3, Procedimento PDL3)

Se necessário, o projetista poderá introduzir modificações no projeto básico ou assumir que a edificação será iluminada artificialmente.

Essas tres Etapas serão seguidas das Etapas de estimativa do consumo de energia elétrica para a iluminação artificial e otimização do consumo total (condicionamento e iluminação):

⁷⁶ Mesmo que o projetista não tenha levado em conta as recomendações formuladas quanto à geometria mais adequada para otimizar o desempenho luminoso natural, nesta fase (avaliação do projeto básico), irá identificar quantas horas no ano será possível utilizar a iluminação natural e em que área dos ambientes será necessária recorrer à iluminação artificial.

⁷⁷ O projetista poderá estudar qualquer ponto da sala com o procedimento aqui apresentado.

Etapa 4: Estimar o consumo de energia elétrica para iluminação artificial (se for o caso), segundo Procedimento PCEI1 descrito em 7.2.1;

Etapa 5: Otimizar o consumo total de energia elétrica para

condicionamento artificial do ambiente e iluminação, segundo Procedimento PCEI2, descrito em 7.2.2..

A seguir estão descritos os procedimentos PDL1, PDL2 e PDL3 citados nas Etapas 1 a 3.

6.2.1 Determinação das Condições de Conforto Luminoso (PDL1)

A. Identificação do Nível de Iluminância

A identificação do nível de iluminância deve ser feito com base na Norma Brasileira NBR 5413, considerando as atividades a serem realizadas no interior da edificação e as características dos usuários.

Nota: Os níveis de iluminância que devem ser atendidos nos ambientes iluminados naturalmente não constam de nenhuma Norma Brasileira. A única referência que pode ser utilizada é a NBR 5413 (1982) que estabelece os níveis de iluminância (lux) que devem ser atendidos no plano de trabalho, para ambientes destinados à distintas funções, quando é utilizada a iluminação artificial.

No quadro da Figura 76 estão indicados os valores de iluminância por classe de tarefa recomendados pela NBR 5413.

Faixa	Iluminância (lux)	Tipo de Atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 30 50 50 75 100 100 150 200	Areas públicas com arredores escuros Orientação simples para permanência curta Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos
B Iluminação geral para área de trabalho	200 300 500 500 750 1000 1000 1500 2000	Tarefas com requisitos visuais limitados trabalho bruto de maquinaria, auditórios Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, industria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 3000 5000 5000 7500 10000 10000 15000 20000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno Tarefas visuais muito exatas, montagem de micro-eletrônica Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Transcrito da NBR 5413

Figura 76: níveis de iluminância recomendados, por grupo de tarefas visuais, pela NBR 5413

Observar na Figura 76 que para cada uma das 3 faixas (A, B e C) e por tipo de atividade existem 3 valores de iluminância recomendados. O critério para escolher o

valor adequado é o seguinte:

a. identificar no quadro da Figura 77, o peso (-1,0 ou +1) que deve ser dado a cada um dos fatores: idade dos usuários, velocidade e precisão para executar a tarefa e refletância do fundo da tarefa;

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e Precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Figura 77: Pesos que devem ser associados ao ambiente (e seus usuários), na escolha do nível de iluminância adequado.

b somar os três pesos encontrados, considerando o sinal;

c associar a soma obtida à escolha do nível de iluminância descrita no quadro da Figura 78, com o seguinte critério:

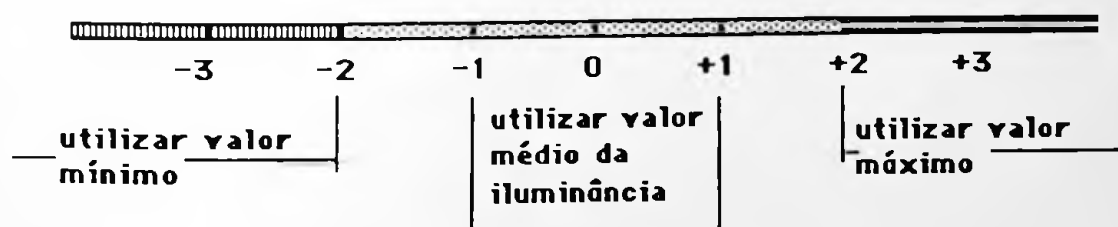


Figura 78: Critério para escolha do nível de iluminância recomendado pela NBR 5413

A título de exemplo, observar:

Para uma sala de aula destinada à **recreação**, para alunos com menos de **10 anos**(peso = -1), onde a **velocidade** e a **precisão** não são importantes(peso = -1) e a **refletância do fundo** é de 80%(peso= -1), o **nível de iluminância a ser adotado deverá ser de 200lux** (Faixa B da Figura 76)

A NBR 5413, além desses critérios estabelece os valores de iluminância por tipo de atividade. À título de exemplo, observe os valores recomendados pela referida Norma, no quadro da Figura 79.

Atividade	Nível de Iluminância
Bancos	
-atendimento ao público.....	500 lux
-salas de datilógrafas.....	500 lux
-salas de recepção.....	150 lux
-guichês.....	500 lux
-arquivos.....	300 lux
Bibliotecas	
-salas de leitura.....	500 lux
-recinto das estantes.....	300 lux
-fichário.....	300 lux
Escolas	
-salas de aula.....	300 lux
-quadro negro.....	500 lux
-laboratórios	
geral.....	200 lux
local.....	500 lux
-salas de desenho.....	500 lux
Escritórios	
- escritório de desenho	
desenho, engenharia mecânica e arquitetura.....	1000 lux
desenho decorativo e esboço.....	500 lux
Residências	
-salas de estar	
geral.....	150 lux
local (leitura, escrita, bordado, etc).....	500 lux
-cozinhas	
geral.....	150 lux
local (fogão, pia mesa).....	300 lux
-quartos de dormir	
geral.....	150 lux
local (espelho, penteadeira, cama).....	300 lux
-banheiros	
geral.....	1000 lux
local (espelho).....	300 lux

Transcrito da NBR 5413 (1982)

Figura79: Níveis de iluminância recomendados pela NBR 5413-Iluminância de Interiores

6.2.2 Determinação do FLD médio (%) (PDL2)

Dados necessários:

- a planta e corte do ambiente em estudo e das obstruções do entorno;
- b dados relativos às cores dos revestimentos internos do ambiente (Ver Figura 85).

O FLD(Fator de Luz Diurna), expressa a relação entre a iluminância no plano de trabalho (E_g) e a iluminância em plano horizontal (E_h) exterior, desobstruído(Ver Figura 76)

$$FLD = (E_g / E_h) \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{Eq 73})$$

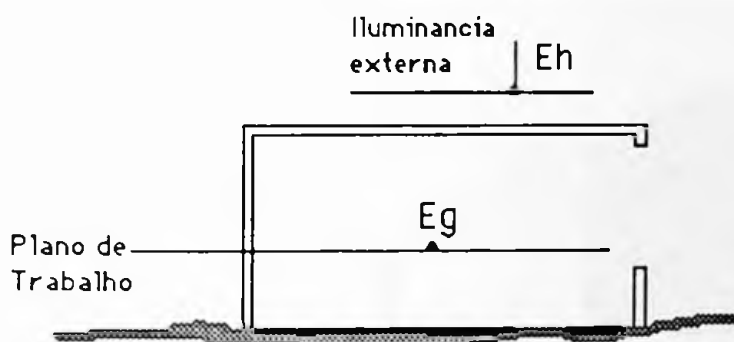


Figura76: Fator de Luz Diurna (FLD): relação entre a iluminância no plano exterior(E_h) e iluminância no plano de trabalho(E_g)

Para o cálculo de FLD deve ser utilizado o seguinte algoritmo:

$$FLD = FC + FRE + FRI \quad (\%) \quad (\text{Eq 87})$$

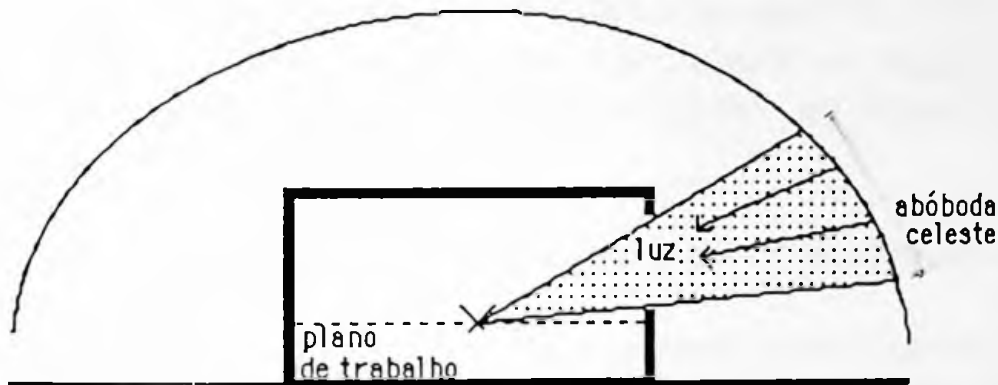
onde

FC = Fator de Céu, que expressa a contribuição da parcela de céu "vista" pelo centro geométrico da sala⁷⁸ (ver Figura81), e pode ser determinado conforme método proposto abaixo:

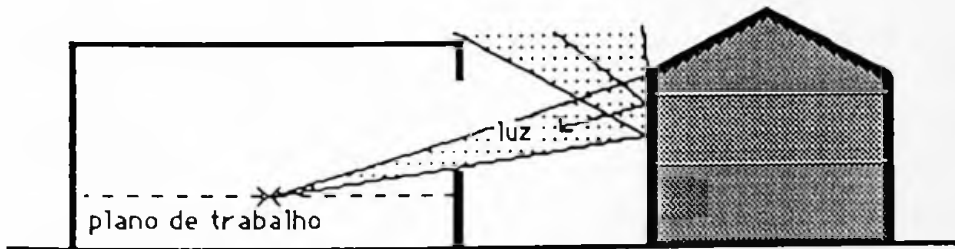
⁷⁸ O FLD pode ser determinado para qualquer ponto do ambiente, sempre no plano de trabalho. Para qualquer ponto são válidas as mesmas equações e as mesmas definições.

FRE= Fator de Reflexão Externa, que expressa a contribuição da luz refletida pelas obstruções externas na iluminação do centro geométrico da sala(Ver Figura 81), e pode ser determinado conforme método proposto abaixo:

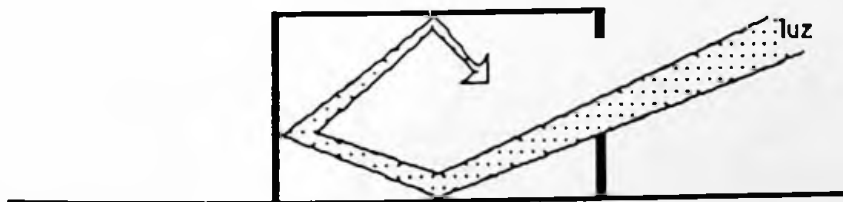
FRI= Fator de Reflexão Interna, que expressa a contribuição da luz refletida pelas superfícies internas dos componentes horizontais e verticais na iluminação do centro geométrico da sala(ver Figura 81), e pode ser determinado conforme método proposto abaixo:



FC= Fator de Céu



FRE= Fator de Reflexão Externa



FRI= Fator de Reflexão Interna

Figura 81: Componentes do Fator de Luz Diurna (FLD)

A Cálculo do FC (Fator de Céu)

A.1 Caso de Edificação sem Obstrução no Entorno.

Para determinação do Fator Celeste(FC) no ponto médio (centro geométrico) de um ambiente, que não tenha obstrução no entorno, pode-se utilizar a seguinte Equação:

$$FC = 0.5 * (\cos \Omega - \cos \vartheta) * 0.438 (1 + 2 * \sin \vartheta) * 2 * IC * 100 \quad (\%) \quad (\text{Eq 88})$$

sendo, ϑ e Ω e ϑ (em corte) e β (em planta) os ângulos definidos na Figura 82 e IC determinado diretamente no gráfico da Figura 83, a partir dos ângulos ϑ e β

O ângulo ϑ é definido pelo linha do plano de trabalho e pela linha que passa no centro do vão livre da janela.

Nota: Para efeito deste cálculo, o ponto que define a profundida (P) está localizado no centro geométrico da sala e o plano de trabalho tem altura de 0.75m. Por hipótese, o céu apresenta distribuição de luminância tipo "overcast".

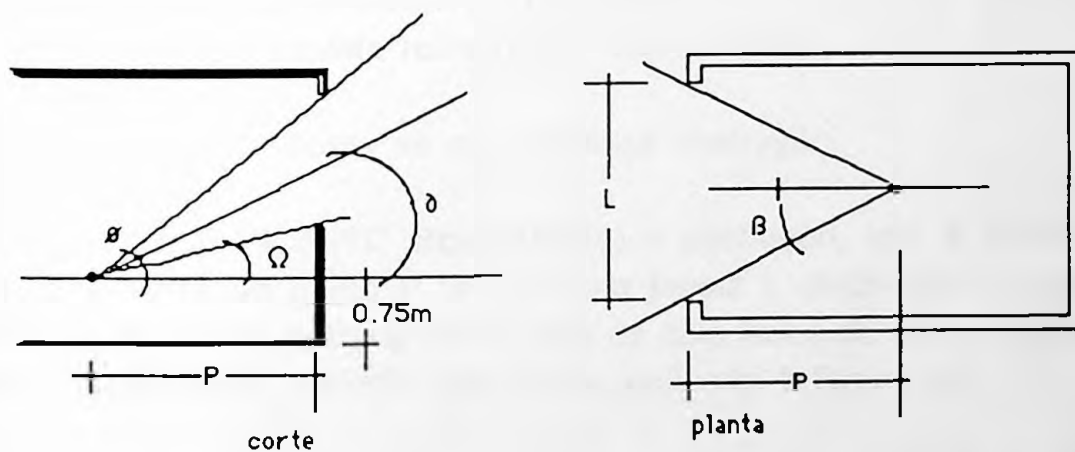


Figura 82: Ângulos definidos em função das dimensões da janela para cálculo e FC

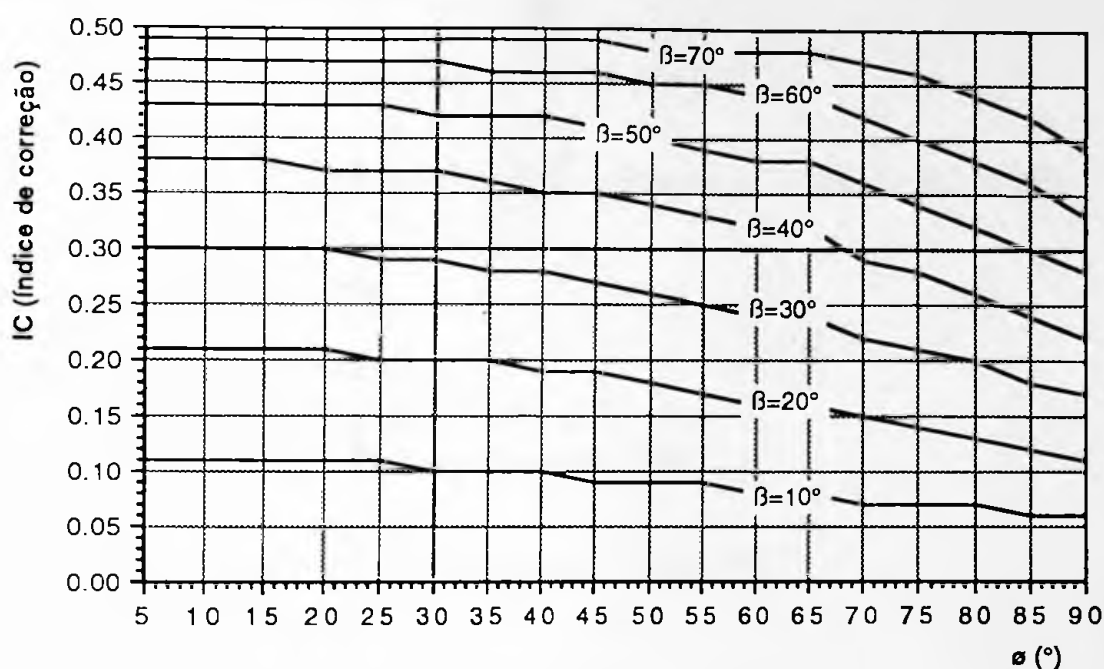


Figura 83: Abaco para identificação do índice de correção IC (a ser aplicado na Equação 88)

A.2 Caso de Edificação com Obstrução no Entorno.

Para determinação do **Fator de Céu (FC)** no ponto médio (centro geométrico) de um ambiente que apresente obstrução no entorno, deve-se:

- a. determinar **FC** como se não existisse obstrução,
- b. determinar o **FCE (FC Equivalente)** à obstrução, isto é, considerando que a obstrução vista do ponto P "é a própria janela", utilizando a mesma Equação 88, mas calculando IC para os dois lados da linha central da janela (observar o exemplo que segue, aplicado à Figura 84)
- c. determinar o FC do caso em estudo, subtraindo o FCE do FC calculado para o caso sem obstrução.

Exemplo de aplicação:

Cálculo de FC sem considerar a obstrução (FC_{so}):

Na Figura 84, o FC sem obstrução, aplicando a Equação 88, será:

$$\alpha = 35^\circ$$

$$\Omega = 7^\circ$$

$$\beta = 24^\circ$$

$$\delta = ((35-7)/2)+7=21^\circ$$

$$IC = 0.23 \text{ (extraído da Figura 83)}$$

$$FC_{so} = 2.9\% \text{ (aplicando a Equação 88)}$$

Cálculo de FCE para a obstrução (ver Figura 84):

$$\alpha = 27^\circ$$

$$\Omega = 7^\circ$$

$$\beta_d \text{ (ângulo à direita da linha central da janela)} = 10^\circ$$

$$\beta_e \text{ (ângulo à esquerda da linha central da janela)} = 24^\circ$$

$$\delta = ((27-7)/2)+7=17^\circ$$

Nota: Neste caso, como o ponto P em relação à obstrução não é central, deve-se calcular o IC correspondente a cada um dos ângulos β . Observar o produto "IC*2" que aparece na Equação 88 corresponde a dois ângulos β iguais.

$$IC_d = 0.11 \text{ (extraído da Figura 83)}$$

$$IC_e = 0.23 \text{ (extraído da Figura 83)}$$

$$FCE = 1.3\% \text{ (aplicando a Equação 88)}$$

Portanto, o FC para o caso em estudo, considerando a obstrução, será:

$$FC = FC_{so} - FCE = 2.9 - 1.3$$

$$FC = 1.6\%$$

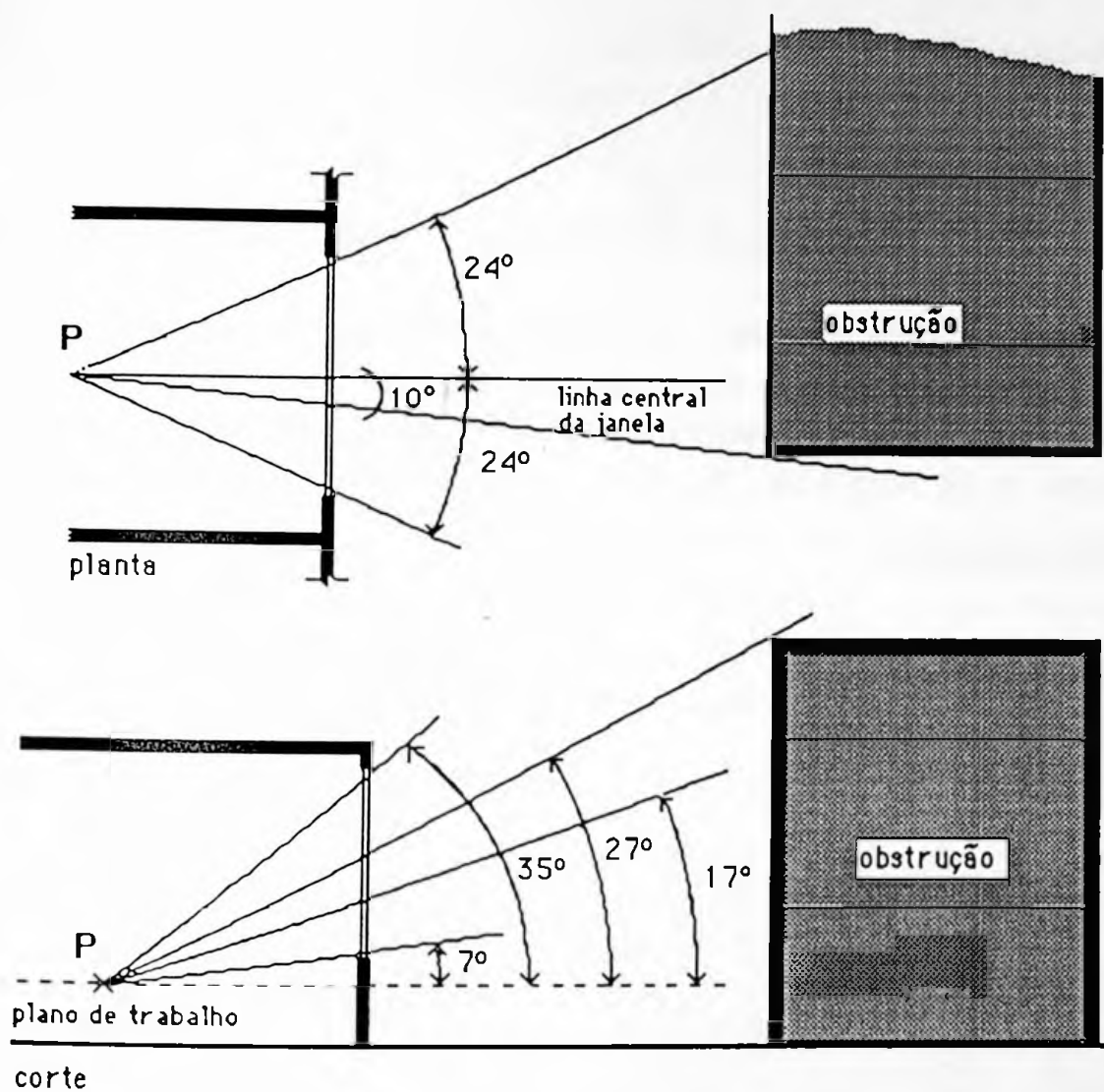


Figura 84: Caso de janela obstruída por edificação vizinha

B Cálculo do FRE (Fator de Reflexão Externa)

Para o cálculo do Fator de Reflexão Externa (FRE) (a componente que representa a quantidade de luz natural que chega ao ambiente após reflexão em obstruções externas) é necessário determinar inicialmente o FCE (Fator Celeste Equivalente) Equivalente, conforme descrito no item anterior - isto é, como se a luz não viesse da obstrução, mas da faixa de céu obstruída por ela. O valor encontrado para FCE deve, então, ser multiplicado por 0.15⁷⁹:

$$FRE = FCE * 0.15 \quad (\text{Eq 89})$$

⁷⁹ Valor sugerido pelo CIE (39).

No caso do exemplo descrito na Figura 84, o valor de FCE encontrado foi de 1.3%, portanto o valor de FRE, será:

$$FRE = 0.15 \cdot 1.3 = 0.19 \%$$

C Cálculo do FRI (Fator de Reflexão Interna)

Para o cálculo do Fator de Reflexão Interna⁸⁰ (FRI), é necessário o conhecimento das refletâncias das principais superfícies internas, ou seja, da proporção de luz incidente que é por elas refletida. Esse dado, que depende da cor e da textura dos materiais, está indicado na tabela⁸¹ da Figura 85, a seguir.

----- Materiais	Refletâncias (%)
FORROS	
Tinta branca, a água, sobre gesso	80
Tinta branca, a água, sobre placas acústicas de gesso	70
Tinta branca, a água, sobre concreto	65
PISOS E MOBILIARIO	
Carpete, marrom escuro	10
Cimento	45
Lajotas cerâmicas, vermelhas	10
Piso de cortiça	20
Papel branco	80
Madeira compensada, clara	35
Madeira compensada, escura	20
Aço inoxidável	35
PAREDES	
Cimento amianto, branco	40
Bloco de concreto, claro	40
Bloco de concreto, escuro	20
Tijolo comum	30
Concreto, liso	30
Concreto, áspero	20
Tinta a água, creme	60
Tinta, branca brilhante	85
Azulejos, brancos	80
Gesso, rosado	65

Figura 85: Refletâncias médias de alguns materiais e acabamentos

⁸⁰ Para o cálculo do fator de reflexão interna (FRI) foi adotado o método proposto por Morel, N. et alii (41)

⁸¹ Valores extraídos da British Standards Institution, 1982. Basic Data for the Design of Buildings Daylight. (40)

Para a determinação de FRI médio da sala em estudo, pode-se utilizar a Equação 90:

Nota: O cálculo aplica-se a uma distribuição de luminância no céu no padrão "overcast sky" CIE (modelo adotado neste Documento).

$$FRI = 0.85 \cdot J \cdot (KR_i + (5 \cdot R_s)) / A \cdot (1 - R) \quad (\%) \quad (\text{Eq } 90)$$

sendo,

0.85 = o valor da transmitância difusa de um envidraçamento transparente e limpo. A correção para outros tipos de envidraçamento, com fator de transmitância distintos (Ver tabela da Figura 88) deverá ser feito no valor do FLD final (item D.1 deste capítulo);

J = a área líquida da janela;

A = a área total de forro, paredes e piso, incluindo a janela ;

R = a refletância média de forro, paredes e piso, incluindo a janela, e expressa na forma decimal;

R_i = a refletância média do piso e das partes da parede situadas **abaixo do plano da altura média** da janela (excluindo-se a parede que contém a janela), e incluindo o mobiliário, quando significativo;

R_s = a refletância média do forro e daquelas partes da parede situadas **acima do plano de altura média** da janela (excluindo-se a parede que contém a janela);

K = coeficiente que representa o fluxo luminoso incidente na janela , acima do plano de sua altura média, e depende da altitude angular de uma eventual obstrução externa. A tabela da Figura 86 indica valores de K relativos à diversos ângulos de obstrução, mas, numa primeira aproximação,

K pode ser obtido da Equação:

$$K = 40 - (\hat{\theta}/2) \quad (\text{Eq } 91)$$

sendo,

$\hat{\theta}$ = ângulo de obstrução medido a partir do centro da janela (na Figura 87, o ângulo $\hat{\theta}$ tem valor de 20°).

Ângulo de obstrução medido a partir do centro da janela (em graus)	Coefficiente K
0	39
10	35
20	31
30	25
40	20
50	14
60	10
70	7
80	5

Figura86: Variação do coeficiente K , função do ângulo de obstrução

À título de ilustração do cálculo de FRI, observar o exemplo que segue:

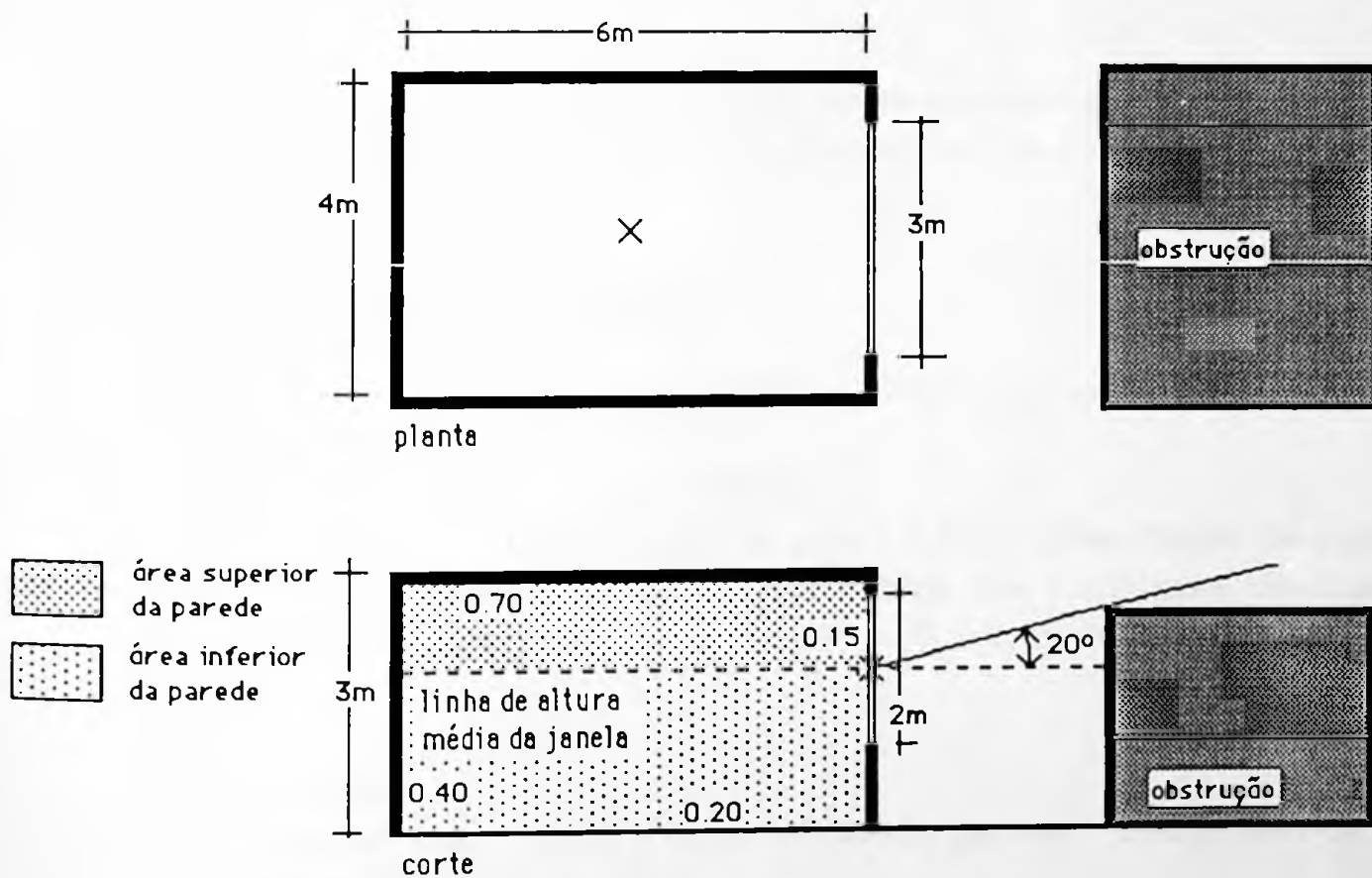


Figura 87: Esquema indicativo de ambiente para o qual se quer determinar FRI.

O ambiente descrito na Figura 87 apresenta as seguintes características:

Dimensões:

4m (largura) x 6m (fundo) x 3m (pé direito);

Área da janela: 6m²;

Refletância das superfícies internas:

Forro: 0,70;

Piso: 0,20;

Paredes: 0,40;

Envidraçamento: 0,15;

A obstrução externa é complexa; no entanto, a fim de aplicar a Equação 90 é possível reduzi-la a uma obstrução equivalente, horizontal, infinita, de altura angular de 20° (veja Figura 87).

Nota: Observar que o ângulo de elevação da obstrução externa para cálculo do FRE, é medido a partir do ponto P, centro geométrico do ambiente. Neste caso, para efeito do cálculo de FRI, o ângulo deve ser medido a partir do centro da abertura.

Procedendo à aplicação da Equação 90:

$$FRI = [0.85 \cdot J \cdot (K R_i + (5 \cdot R_s))] / A \cdot (1 - R) \quad (\%) \quad (\text{Eq } 90)$$

$$J = 6 \text{ m}^2$$

$$A = 2 \cdot (6 \cdot 4 + 6 \cdot 3 + 3 \cdot 4) = 108 \text{ m}^2$$

$$R = (\text{área do forro} \cdot 0,70) + (\text{área do piso} \cdot 0,20) + (\text{área líquida da parede} \cdot 0,40) + (\text{área envidraçada} \cdot 0,15) / \text{área total das superfícies internas}$$
$$= [(24 \cdot 0,70) + (24 \cdot 0,20) + (54 \cdot 0,40) + (6 \cdot 0,15)] / 108 = 0,41$$

$$R = 0.41$$

donde,

$$(1 - R) = 0,59$$

$$R_i = [(\text{área do piso} \cdot 0,20) + (\text{área inferior da parede} \cdot 0,40)] / (\text{área do piso} + \text{área inferior da parede})$$
$$= [(24 \cdot 0,20) + (32 \cdot 0,40)] / 56 = 0,31$$

$$R_i = 0.31$$

$$R_s = [(\text{área do forro} \cdot 0,70) + (\text{área superior da parede} \cdot 0,40)] / (\text{área do$$

$$\begin{aligned} & \text{forro} + \text{área superior da parede) =} \\ & = [(24 * 0,70) + (24 * 0,40)]/8 = 0,55 \\ & \mathbf{Rs= 0.55} \end{aligned}$$

O valor de **K** para uma obstrução de 20° é 31°(Ver Figura 86).

Assim,

$$\begin{aligned} \mathbf{FRI} &= [0,85 * 6 * (31 * 0,31 + 5 * 0,55)]/(108 * 0,59) = 1,00 \% \\ \mathbf{FRI} &= 1.00\% \end{aligned}$$

Determinados os valores **FC**, **FRE** e **FRI** pode ser determinado o valor de **FLD**, aplicando-se a Equação 87.

Nota: Observar que no caso em que o ambiente disponha de mais de uma abertura, o **FLD** resultante será a somatória do **FLD** determinado para cada uma delas.

Observar que a determinação dos valores de **FC**, **FRE** e **FRI** consideraram envidraçamento **de vidro transparente, claro e limpo**. Dessa forma, após determinado o valor da **FLD**, será necessária a correção desse valor em função do tipo de componente (vidro especial, plástico, etc) utilizado como fechamento da abertura e das características da atmosfera local.

D Fatores de Correção do FLD

D.1 Outros tipos de envidraçamento

Observar na tabela da Figura 88, os valores de correção que devem ser aplicados ao **FLD** em função do componente utilizado:

Material	Fator de correção
VIDROS TRANSPARENTES	
Simples, 2 a 6 mm	1,0
Aramado, até 6 mm	0,95
VIDROS TRANSLUCIDOS	
Prensados fantasia, 3 a 4 mm	0,95
Esmerilhados	0,95
Prensados grossos e industriais, até 6 mm	0,90
VIDROS ESPECIAIS	
Pigmentados termo-absorventes, 4 a 6 mm	0,90
LAMINADOS DE PLASTICO	
Chapas onduladas reforçadas com fibra de vidro moderadamente difusoras	0,90
bem difusoras	0,75 a 0,90
altamente difusoras	0,65 a 0,80
Lâminas translúcidas de acrílico opalino	0,65 a 0,90

Figura 88: Fatores de correção para diferentes tipos de envidraçamento (referidos a um envidraçamento transparente e claro).

D.2 Limpeza do envidraçamento

Um vidro, uma vez instalado, está sujeito ao acúmulo de poeira e outras impurezas, fato que diminui sua transmitância luminosa. Deve, assim, ser aplicado um fator de correção que se refere às condições médias de limpeza do envidraçamento, e que varia com a localização do edifício. Esses fatores, que devem ser aplicados ao FLD, estão listados na tabela da Figura 89:

Localização(características da área)	Fator de correção
Limpa	0,90
Industrial	0,70
Muito suja	0,60

Figura 89: Fatores de correção para o envidraçamento em função das características da área onde se localiza a edificação.

Determinado o valor de FLD (Fator de Luz Diurna), o projetista deverá estimar a eficiência (EFC) luminosa natural dos ambientes definidos no projeto básico.

A estimativa dessa eficiência está descrita em 6.2.3, que segue.

6.2.3 Estimativa da Eficiência Luminosa da Abertura (PDL3)

Objetivo:

Estimar o número de horas do ano durante as quais a iluminação natural será suficiente para atender o nível de iluminância desejado.

Para estimar a **eficiência luminosa** das aberturas dos ambientes dimensionados no projeto básico, o projetista deve construir, inicialmente o gráfico que correlaciona a **eficiência** típica da região em estudo e o **FLD(%)** correspondente para nível de iluminância desejado. O Procedimento para construção do referido gráfico é o seguinte:

a. tomar os valores de **Eh** (lux) determinados no gráfico da Figura 27, item 3.2.1, e associar cada nível de **eficiência** à relação:

$$\text{FLD} = \text{Eh/Eg} (\%) \quad (\text{Eq 73})$$

sendo,

Eh = nível de iluminância correspondente a uma dada eficiência e **Eg** o nível de iluminância exigido no interior da edificação (determinado no Procedimento **PDL1**).

A título de exemplo, observar o gráfico construído para Recife, que correlaciona o **FLD** e a **eficiência** típica da região para vários níveis de iluminância interna.

Observar no gráfico da Figura 90, que para um ambiente que apresente **FLD** de 3,5%, se o nível de iluminância estabelecido pela NBR 5413 for de 500 lux, durante 50%⁸² das horas do ano a iluminação natural será suficiente (até o centro do ambiente ou até o ponto para o qual foi determinado o **FLD** (Procedimento **PDL2**).

⁸² Para um edifício comercial, 50% das horas corresponderia, aproximadamente a 1320 horas por ano.

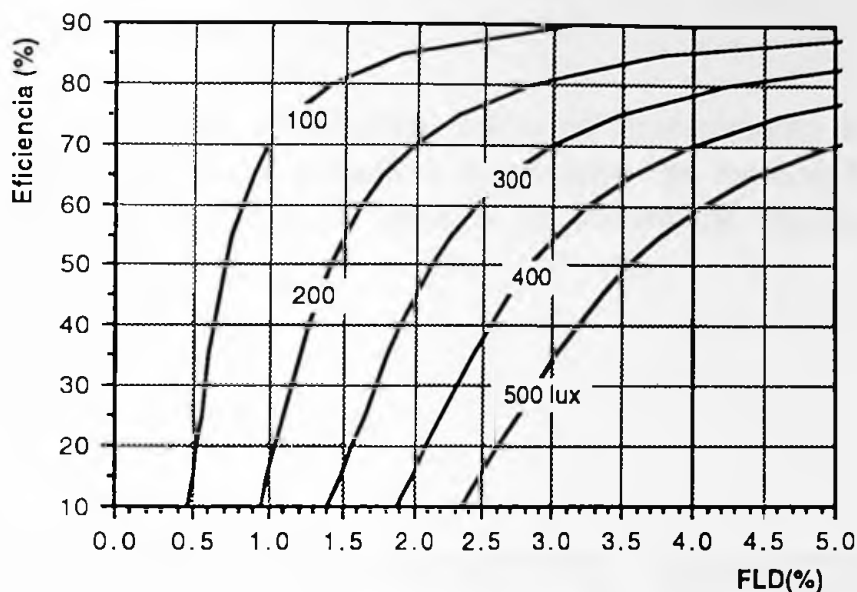


Figura90: Gráfico que correlaciona, para a cidade de Recife a percentagem do número de horas no ano durante as quais a iluminação natural é satisfatória e o FLD no ponto analisado do interior do ambiente.

Conhecida a **eficiência** a partir de FLD (Figura 90), o projetista poderá optar por **aceitá-la** ou **aumentá-la**. Neste último caso, os recursos que dispõe, serão:

- a. alterar as dimensões da abertura e/ou
- b. modificar a posição relativa da abertura na parede e/ou
- c. modificar a cor dos revestimentos internos e/ou
- d. aumentar o número de aberturas e/ou
- e. mudar a abertura para fachada sem obstrução ou para fachada que não necessite de proteção solar e/ou
- f. alterar o tipo de vidro utilizado, que apresente valores maiores de

transmissão luminosa .

Ainda com o dado de **eficiência** obtido no Procedimento descrito acima, o projetista poderá indicar ao projetista do sistema de iluminação artificial qual a será a prioridade para acionar o sistema de iluminação artificial.

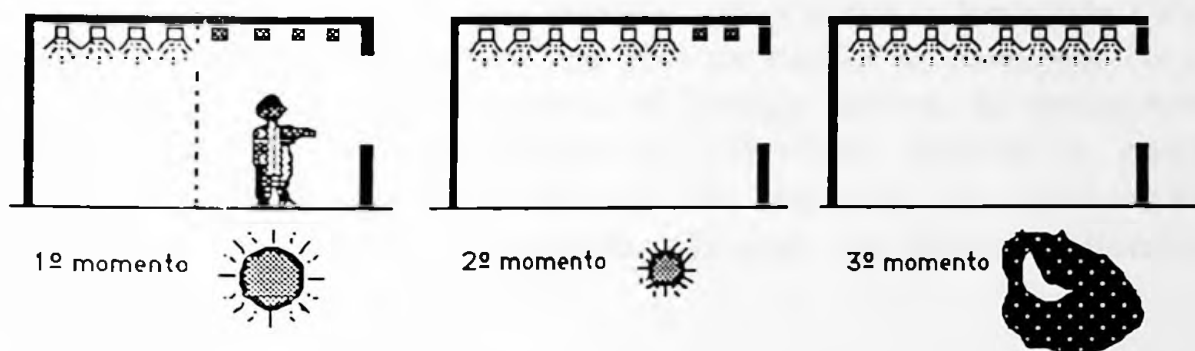


Figura 91: Sequência de acionamentos das luminárias que permite complementar a iluminação natural.

Uma vez estimada a **eficiência** da iluminação natural , o projetista terá condições de **estimar o consumo de energia elétrica decorrente da utilização da iluminação artificial** como recurso complementar à utilização da iluminação natural que o seu projeto tornou possível. Tal estimativa está descrita no item que segue.

7. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA PARA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

7.1 Considerações Gerais

O método de cálculo para a estimar o consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial, **quando o mesmo é utilizado apenas como complementação do sistema de iluminação natural**, não consta de nenhuma bibliografia consultada, na medida em que o tema é frequentemente tratado sob enfoques distintos: iluminação artificial ou iluminação natural.

Considerando que o presente trabalho entende que a iluminação natural é um recurso fundamental para garantir aos usuários não só as condições de conforto luminoso mas a redução do consumo de energia elétrica, **foi necessário buscar uma formulação que permitisse ao projetista estimar o consumo de energia elétrica decorrente do uso do sistema de iluminação artificial** mas que levasse em conta os períodos durante os quais a iluminação natural é suficiente.

Evidentemente a formulação aqui proposta implica, necessariamente na aplicação prévia dos Procedimentos expostos anteriormente, particularmente o Procedimento **PDL3**(item 6.2.3), através do qual o projetista identifica o número de horas durante as quais a iluminação natural é suficiente para atender as exigências dos usuários.

Essa formulação está proposta a seguir.

7.2 Procedimento para Estimar o Consumo de Energia Elétrica para Iluminação (PCEI)

Objetivo:

Determinar o consumo de energia elétrica para iluminação artificial dos ambientes da edificação, nos períodos durante os quais essa iluminação é utilizada como recurso complementar à iluminação natural.

Nota: Nos casos em que a iluminação artificial é usada ininterruptamente, quer por opção do projetista ou por imposição do tipo de atividade, poderá ser utilizado o mesmo Procedimento para estimar o consumo de energia.

Dados necessários:

1. Valor da eficiência luminosa determinado no Procedimento descrito no item 6.2.3;
2. Planta do ambiente em estudo;
3. Potência do sistema de iluminação artificial definido pelo projetista do sistema de instalação elétrica.

Procedimentos

7.2.1 Estimativa do Consumo de Energia Elétrica (PCEI1)

Utilizando o resultado da eficiência luminosa (que agora será representada por "EFC") obtido no Procedimento PDL3 (item 6.2.3) anterior, o projetista poderá estimar o consumo de energia elétrica (CEE) para iluminação artificial dos ambientes, no período de um mês, por m² de piso. Para isso, deverá utilizar a seguinte Equação:

$$CEE = (Pot \cdot T \cdot A_1 + Pot \cdot T \cdot (1 - EFC) \cdot A_2) / 1000 \quad (\text{kWh/mes}) \quad (\text{Eq 92})$$

onde,

A_1 = área do piso onde a iluminação artificial é necessária todo o tempo (ver Figura 92)

A_2 = área do piso onde a iluminação natural apresenta eficiência igual a EFC (ver Figura 92)

EFC= eficiência luminosa determinada no item 6.2.3,extraído da Figura 90(decimal)

Pot⁸³= potência do sistema de iluminação (W/m²)

T= tempo de ocupação durante o mês (nº de horas/mês)

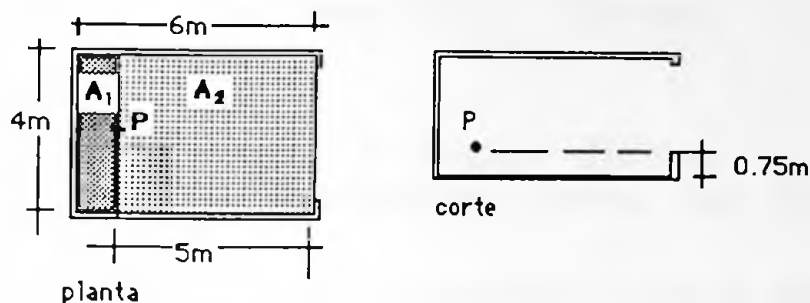


Figura 92: Identificação das áreas onde a iluminação artificial é indispensável(A1) e onde a iluminação natural é suficiente (A2)

Esse Procedimento permite uma **estimativa** do consumo de energia pelo sistema de iluminação artificial, pois o cálculo preciso exige que o **FLD** seja calculado ponto a ponto. Isso poderá ser feito com o mesmo Procedimento descrito em 6.2.2. No entanto, a estimativa para o ponto central da sala é suficiente para uma avaliação inicial pelo projetista e pode dar subsídios importantes para o projetista do sistema de iluminação artificial.

Considerando-se o exemplo descrito na Figura 92, um ambiente cujo **FLD** no ponto P é de 3,5%, portanto 50% de eficiência(dado extraído da Figura 90), o consumo de energia elétrica mensal para iluminar o ambiente, será:

$$CEE = (Pot \cdot T \cdot A_1 + Pot \cdot T \cdot (1 - EFC) \cdot A_2) / 1000 \quad (\text{kWh/mes}) \quad (\text{Eq } 92)$$

sendo :

$$Pot = 40 \text{ W/m}^2$$

$$T = 10 \text{ h} \cdot 20 \text{ dias}$$

$$A_1 = 4 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 20 \text{ m}^2$$

$$EFC = 0.5 \text{ (50\%)}$$

$$CEE = [40 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 4 + 40 \cdot 10 \cdot 20 \cdot (1 - 0.5) \cdot 20] / 1000$$

$$CEE = 112 \text{ kWh/mes (média de 4.6 kWh/m}^2 \text{ mes)}$$

⁸³ De um modo geral, o sistema de iluminação artificial se caracteriza pela potência de 40W/m².

Nota: Se sómente a iluminação artificial fosse utilizada, o consumo seria de 192 kWh/mes ou 8kWh/m² mes, pois

$$CEE = [40 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 24] / 1000 = 192 \text{ kWh/mes}$$

7.2.2 Otimização do Consumo de Energia Elétrica:

Eficiência Luminosa x Eficiência Térmica das Aberturas (PCEI2)

Estimado o consumo de energia que decorrerá do uso do sistema de iluminação, o projetista ainda não terá identificado se a solução proposta para as aberturas está otimizada, isto é, se o benefício a favor da iluminação natural não significou um excesso de carga térmica que deverá ser extraído pelo sistema de condicionamento artificial.

Para caracterizar essa situação, observar o gráfico da Figura 93, onde o aumento da área da abertura (J no eixo das abcissas) significa aumento do consumo de energia elétrica para remover tal carga (curva *consumo resfriamento*), enquanto que esse mesmo aumento de J significa redução no consumo de energia para a iluminação artificial do ambiente (curva *consumo iluminação artificial*).

Evidentemente existirá uma dimensão ótima para a abertura: aquela representada pelo valor mínimo da soma das duas curvas (curva *consumo total*).

Nota: Esse tipo de análise é mais adequado quando o ponto analisado dentro do ambiente se localiza à um metro da parede dos fundos.

Observar (na Figura 93) que a geometria da abertura é um dado importante no desempenho luminoso natural: a janela de área de 4m², que apresenta 2m de altura por 2m de largura implicará num consumo total inferior ao apresentado pela abertura com 1m de altura por 4m de largura (na Figura 93 observar a indicação da seta). Essa análise fica sensivelmente facilitada se o projetista formular um programa⁸⁴(software) para análise do desempenho térmico e consumo de energia elétrica e introduzir modificações nas aberturas, obtendo dados para construir o gráfico da Figura 93. Deverá fazer o mesmo para análise das condições de iluminação.

⁸⁴Os procedimentos de cálculo descritos neste trabalho são suficientes para a elaboração de ambos os programas: avaliação do desempenho térmico e avaliação do desempenho luminoso das edificações.

Ambiente analisado / condições típicas de Recife

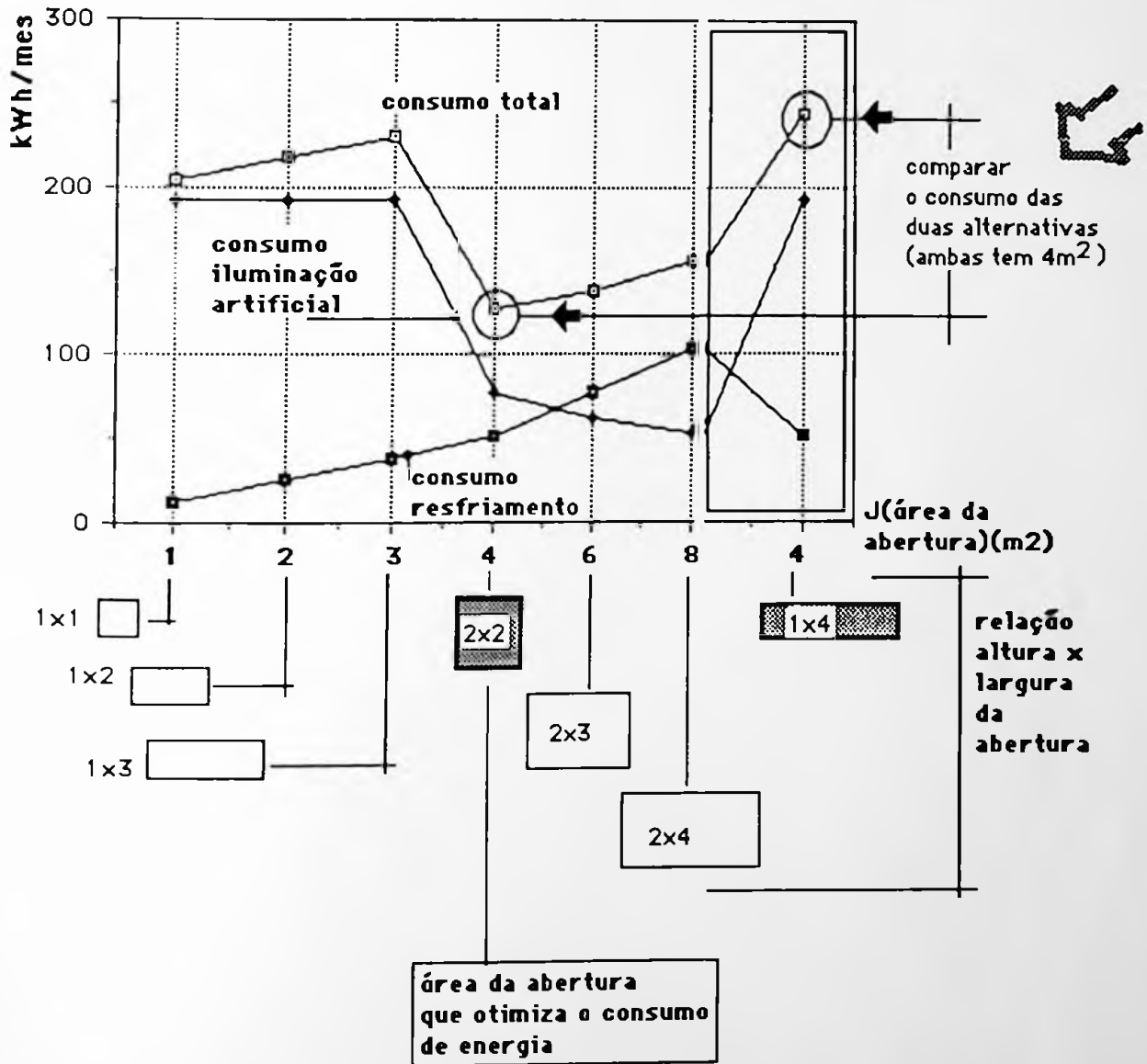
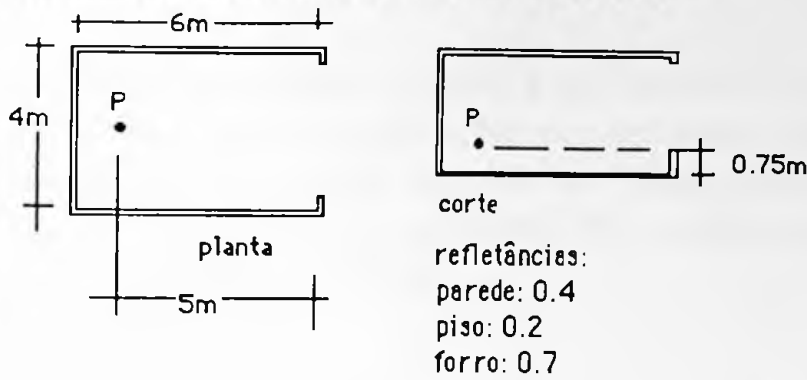


Figura 93: Análise comparativa entre o consumo de energia elétrica para condicionamento artificial e iluminação em função da dimensão e geometria da janela.

Comentário:

Apesar deste Procedimento ser o último a ser aplicado, o resultado encontrado poderá implicar na necessidade de alterações nas dimensões das aberturas. Ressalve-se que tal Procedimento não pode ser aplicado em Etapas anteriores do processo, já que o parâmetro de comparação é o **consumo de energia elétrica** para condicionamento e iluminação artificial.

8. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

8.1 Procedimentos para Apresentação dos Resultados

Estimados os valores de consumo de energia elétrica para condicionamento artificial e para a iluminação artificial, o projetista estará em condições de apresentar **junto ao projeto executivo** (a ser apresentado ao cliente), o consumo total previsto **para a fase de uso da edificação**, assim como as condições de conforto térmico e luminoso que serão .

Para isso, objetivando maior consistência na apresentação dos dados, o projetista⁸⁵ poderá apresentar uma "ficha de desempenho " de seu projeto a título de memória, anexando as seguintes informações:

- a. as características climáticas regionais no que se refere a obrigatoriedade ou não de condicionamento artificial
- b. os parâmetros de conforto térmico adotados, para condições de condicionamento artificial e natural;
- c. os parâmetros de conforto luminoso adotados, para condições de iluminação artificial e natural;
- d. os períodos do ano e do dia que demandarão condicionamento artificial;
- e. a eficiência da iluminação natural
- f. o consumo de energia elétrica estimado para o condicionamento artificial
- g. o consumo de energia elétrica estimado para a iluminação artificial
- h. o consumo total estimado de energia elétrica.

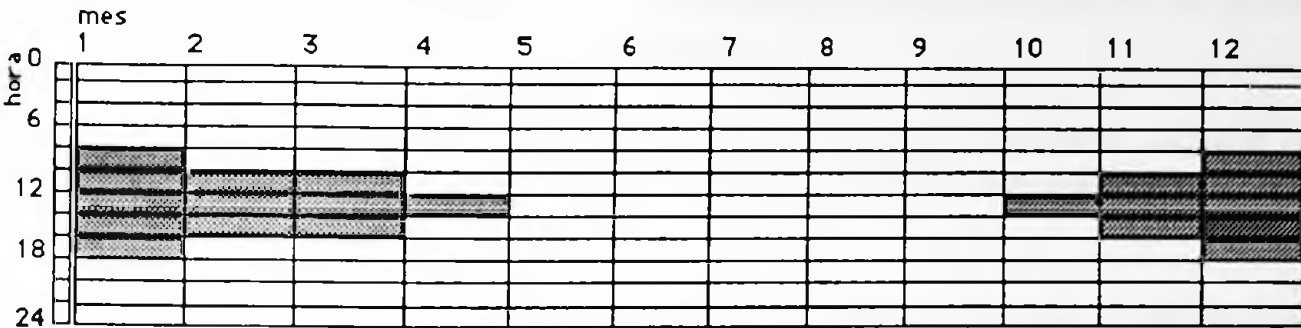
Essas informações estão reunidas, para um caso hipotético, na Figura 94.

⁸⁵ O preenchimento da "ficha" exige que o projeto da instalação do ar condicionado e do sistema de iluminação artificial já estejam resolvidos.

Referência:
Arquiteto:
Data:

Localização:

Diagnóstico Climático Regional / Condições de Conforto Adotadas / Consumo de Energia
Condicionamento Ambiental

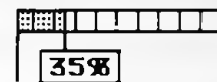


períodos nos quais o condicionamento artificial não pode ser dispensado

Conforto Térmico:

Condicionamento Artificial	temperatura máxima:	27.5°C
	temperatura mínima:	22.0°C
	umidade relativa:	50%
Condicionamento Natural	temperatura máxima:	27.5°C
	temperatura mínima:	22.0°C

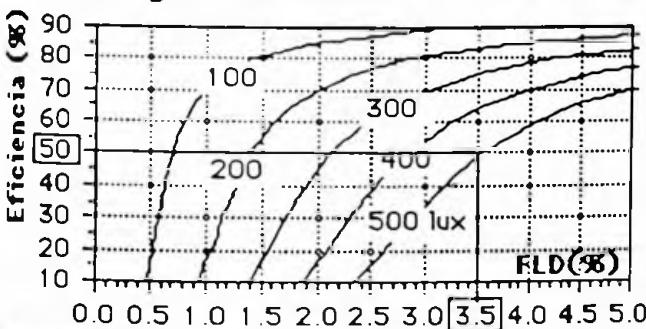
Período de utilização do condicionamento artificial:



do total de horas de ocupação em 1 ano

Consumo de energia estimado: 6 kWh/mes m² (condicionamento artificial)

Iluminação Natural



Nível de iluminância exigido:
500 lux no plano de trabalho
NBR 5413

Eficiência adotada
50% das horas com iluminação natural

Consumo de energia estimado: 4 kWh/mes m² (iluminação artificial)

CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA TOTAL: 10 kWh/mes m²

COMENTARIO:

Não foi adotada a NBR 6401, uma vez que os limites de conforto aceitáveis para a região podem ser mais elevados do que os recomendados pela referida Norma, dadas as características de aclimação da população. Os valores adotados permitirão que o consumo de energia elétrica para condicionamento seja reduzido em 20%.

Figura 94: Apresentação dos dados utilizados no desenvolvimento do projeto e dos resultados esperados.

9. CONCLUSÕES

Este trabalho é uma proposta de incorporação sistemática dos aspectos do conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica no processo de desenvolvimento do projeto de edificações.

Pode-se dizer, nesse sentido, que o presente trabalho pretendeu construir uma ponte entre os profissionais que atuam na área de conforto ambiental e os projetistas de edificações.

Esse canal de comunicação, que se configurou através da formulação de um conjunto de procedimentos, detem dois objetivos básicos:

a. transferir aos projetistas as informações técnicas básicas, que são os instrumentos de trabalho dos dois profissionais (ficando, assim, estabelecida uma linguagem padrão que facilita o diálogo) ,e,

b. ser um instrumento de aplicação prática, que subsidia as decisões do projetista e facilita sua interação com os projetistas do sistema de condicionamento artificial e de instalações elétricas.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, para atingir os dois objetivos acima expostos, foi necessária uma revisão dos métodos para avaliar o desempenho térmico, desempenho luminoso e métodos para estimar o consumo de energia elétrica das edificações, ainda na sua fase de projeto. Todos os métodos de avaliação de desempenho exigiram a definição das condições de exposição (no caso condições climáticas), das exigências humanas a serem atendidas, dos critérios e procedimentos de cálculo para verificação do atendimento dos critérios estabelecidos.

Esse processo de revisão e a necessidade de propor o conjunto de procedimentos, permitiu observar:

a. as questões de conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia devem, necessariamente, ser tratadas conjuntamente, particularmente em países onde as características climáticas permitem que o condicionamento

- artificial seja dispensado em parcela significativa do território ;*
- b. não existe referência nacional ou internacional que trate das questões de conforto térmico , conforto luminoso e conservação de energia de modo sistemático e estruturado de modo a subsidiar o projetista de arquitetura;*
- c. a ausência de normalização na questão do conforto ambiental é um entrave t
anto para atuação do projetista como do especialista em conforto ambiental e
conservação de energia;*
- d. a normalização brasileira é absolutamente carente nas questões que tratam
do conforto ambiental e da conservação de energia;*
- e. entre os especialistas não há consenso entre os métodos de cálculo,
critérios ou mesmo limites de conforto adequados à realidade climática e
cultural brasileira;*
- f. tanto a nível federal, como estadual e municipal não existe orientação quanto
a eficiência das edificações no que se refere ao consumo de enrgia elétrica;*
- g. o esforço no sentido da normalização nessa área deve ser precedido de uma
discussão que permita o consenso entre os especialistas da área (que ainda não
existe) e, ser precedida também da consulta aos projetistas, que em última a
análise, serão os usuários dessa documentação normativa;*
- h. a normalização internacional pode ser uma referência mas não é solução
pronta a ser simplesmente adotada;*
- i. no meio técnico brasileiro que se dedica à atividade de projetar, existe a
consciência da importância da incorporação dos aspectos do conforto e da
economia de de energia, mas não existe a cultura de incorporá-la ao projeto;*
- j. a quantidade de informações específicas relativas às questões de conforto
ambiental de que dispõe o projetista são insuficientes para permitir a i
interação do desses profissionais com os especialistas em conforto;*

k. a limitação dos especialistas em conforto no entendimento dos aspectos criativos do processo de projetar dificulta a interação entre esses profissionais e os projetistas;

l. quanto menor a quantidade de informações técnicas do projetista nos aspectos de conforto ambiental, maior a intervenção de terceiros no seu projeto;

m. a experiência internacional no trato da interrelação projetista/especialista não é também uma questão resolvida; é assunto de praticamente todos os seminários e congressos internacionais que abordam tal questão;

n. os fabricantes (ou representantes) de materiais e componentes construtivos não são incentivados à "medir" e divulgar as características físicas de seus produtos, na medida em que tais características não são solicitadas pelo projetista;

o. todas as decisões tomadas a partir dos procedimentos propostos neste trabalho só se tornarão realmente consistentes quando acompanhadas de uma análise de custo-benefício que decorrem das mesmas;

p. a sequência de procedimentos proposta no presente trabalho, poderá ser mantida mesmo que os parâmetros de conforto, limites para o consumo de energia elétrica e métodos de cálculo venham a ser alterados como decorrência de futura documentação normativa e/ou legal.

Detectados os entraves indicados acima, os próximos passos no sentido de superá-los deverão viabilizar um novo contexto onde, a qualidade do "produto" edificação se evidenciará não só pela criatividade do projetista (já devidamente reconhecida), mas também pelo desempenho satisfatório desse produto na sua fase de uso e operação. Esses passos deverão incluir ações:

a. nas escolas de engenharia e arquitetura:

-implementação dos programas de conforto ambiental e introdução de disciplinas que tratem dos aspectos de conservação de energia;

- aplicação desses conhecimentos nas disciplinas de projeto;

b. nas Universidades e Instituições de Pesquisa:

- divulgação dos estudos e resultados de pesquisas sobre conforto ambiental e conservação de energia aí realizados;

- definição de uma metodologia para tratamento das questões de conforto e conservação de energia no projeto arquitetônico passível de ser adotada nacionalmente e que subsidie a Normalização;

- desenvolvimento e divulgação de programas (softwares) para avaliação rápida das alternativas de projeto a serem analisadas pelos projetistas;

c. junto aos projetistas e respectivas associações de classe:

- promoção de cursos/seminários para divulgação dos conhecimentos já sistematizados na área de conforto ambiental e conservação de energia nas edificações;

- ampliação das discussões junto aos especialistas da área de conforto, ar condicionado e iluminação artificial, visando a consolidação dessas interações ;

- especificação de materiais e componentes cujo fabricante declare as características técnicas e/ou propriedades físicas de seus produtos e que são importantes para a tomada de decisão no desenvolvimento do projeto.

- incentivo para a formulação e divulgação de metodologias que permitam associar aos resultados da avaliação de desempenho das edificações ainda na fase de projeto, os aspectos de custo-benefício que decorrem da aplicação daqueles resultados.

Com absoluta certeza , a proposta aqui apresentada não pretende resolver todos os aspectos envolvidos no assunto em questão: é simplesmente uma tentativa de

identificar um caminho que necessariamente terá de ser discutido não só com os especialistas na área , mas, e principalmente, com os projetistas. Será a interação com estes últimos que permitirá identificar os erros e acertos desta proposta.

10. BIBLIOGRAFIA

1. ANUARIO ESTATISTICO DO BRASIL - 1981 a 1985. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
2. ASHRAE handbook of fundamentals.-Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.1985
3. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT.- Règles de calcul de caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Paris.1977 (Document Technique Unifié, REEF 58).
4. OLGYAY,V & OLGYAY,O. -Design with climate.New Jersey, Princeton University,1963
5. GIVONI,B.-Man,climate and architecture.London,Elsevier,1976.
- 6.KOENIGSBERGER,O. et alii - Vivienda e edificios en zonas cálidas e tropicales .Madrid, Paraninfo,1977
7. GONZALEZ,E. et alii.-Proyecto clima y arquitectura,Universidad Del Zulia,Facultad da Arquitectura,México, Gustavo Gili,1986.
8. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - Federal Register,Part III,Vol 54,nº 18.Rules and Regulations,1989.
9. FROTA,A.B. & SCHIFFER,S.R.- Manual de conforto térmico.São Paulo,Nobel,1988.
10. FANGER, P. O. - Thermal confort, analysis and application in environmental engineering. New York, Mc Graw-Hill, 1972.
11. ASHRAE handbook of fundamentals, 1981.- Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1981.

12. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO SA.
-Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: Manual de procedimentos para avaliação. São Paulo, 1987 (Anexo do relatório IPT nº 24918).
13. RORIZ, M. - Conforto térmico e economia de energia em edificações:um modelo simplificado de avaliação. Universidade de S. Carlos, S. Carlos,Mimeo,1991.
14. UNION EUROPEENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION.
-Directivas comuns para homologação de fachadas leves. Trad. LNEC,Lisboa,1976.
15. GOMES,R.J. -O problema da transmissão térmica em elementos de construção. Lisboa,Laboratório Nacional de Engenharia Civil,1966
16. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. -Source book for energy auditors, vol. 1 and 2. Stockholm Ed. M. B. Lyberg, 1987.
- 17.INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO S. A
-Elaboração de diretrizes para avaliação de projetos arquitetônicos visando racionalizar o consumo energético em sistemas de condicionamento térmico de ambientes. São Paulo, 1989 (relatório IPT nº 27409)
- 18.CLEMENT,D. et alii-.Vers une base de connaissances en modélisation thermique du bâtiment .Elément d'analyse d'une modélothèque.Third International Congress on Building Energy Management,Lausanne,1987.
- 19.SATTLER, M. A. - A computer program for the thermal design of unconditioned buildings. Sheffield, Department of Building Science, University of Sheffield, 1986.
20. MOTTA,A.L.S.- Como quantificar os efeitos de sistemas passivos de refrigeraçnao na temperatura ambiente.Seminário de Sistemas de Conservação de Energia Elétrica em Grandes Edifícios.Rio de Janeiro,1987.
21. RORIZ, M. - Arquitrop: conforto térmico e economia de enrgia nas edificações.Sistema integrado de rotinas e banco de dados para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia visando conforto térmico e economia de

energia. Versão 1.2/Software para PC-IBM, 1991.

22. MILBANK, N.O & HARRINGTON-LYNN.- Thermal response and the admittance procedure. London, BRE, 1974,

23. VAN STRAATEN, J.F. & WENTZEL, J.D. -The prediction of the thermal performance of buildings by a simplified empirical procedure. National Building Research Institute. Pretoria. 1981.

24. CARNEIRO, C.- Incidência de variáveis de projeto sobre o desempenho térmico de habitações de interesse social no Estado de Pernambuco. São Paulo, 1991. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de S. Paulo.

25. MATHEWS, E.H. & JOUBERT, P.H.- Minimising energy consumption in passive buildings by appropriate design. Third International Congress on Building Energy Management, Lausanne, Proceedings, 1987.

26. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO S. A.
-Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, 1982 (relatório IPT nº 16227)

27. SATTLER, M. A.- The generation of climatic building design data from meteorological data, with particular reference to Porto Alegre, Brasil. Sheffield, Department of Building Science, University of Sheffield. 1986

28. RIVERO, R. - Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural - Porto Alegre : D. C. Luzzato Editores : Ed. da Universidade, UFRGS, 1985.

29. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. - Code of basic data for the design of buildings: the control of condensation in dwellings. London, 1985 (BSI-BS 5250)

30. KUSUDA, T. - A variable-base degree day method for simplified residential energy analysis. Washington, National Bureau of Standards, 1981.

31. GUYOT, A. & IZARD, J.L. - Arquitetura Bioclimática, Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1980
32. DIRECCION GENERAL DE ARQUITETURA Y VIVIENDA. Norma Básica de la Edificación, NBE-CT-79-Condicionés térmicas de los edificios, Madrid, 1979.
33. FUNARI, F. L. - Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil. São Paulo, 1984 (Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geografia do FFLCHUSP).
34. SATTLER, M. A. - The generation of climatic building design data from meteorological data, with particular reference to Porto Alegre, Brasil. Sheffield, Department of Building Science, University of Sheffield, 1986.
35. DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. DIN 5034 - Daylight in Interiors, Part 1, Part 2. Berlin, 1979.
36. COMMISSION INTERNATIONALE D'ÉCLAIRAGE. - CIE Nº 16 (E-3.2) 1970: Luz Natural. Tradução COBEI. São Paulo, 1988.
37. MARCH, L. - Elementary models of built forms (in Urban space and structures), Cambridge University Press, London, 1972.
38. NOVELL, B.J. - Simple design method for shading devices and passive cooling strategies based on monthly average temperatures. Huntsville, University of Alabama, 1985.
39. LIM, B.P. et Alii. - Environmental Factors in the Design of Building Fenestration. Londres, Applied Science, 1979.
40. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. DD 73: 1982. Basic Data for The Design of Buildings: Daylight. Londres, 1982.
41. ERIKSSON, J. et GAY, B. et MOREL N. - Etudes de sensibilité. Influence de la fenetre sur le bilan énergétique d'une construction. IEA, International Energy Agency. EPFL, Lausanne 1986.

42. CROISET, M.- L'hygrothermique dans le bâtiment. Paris, Eyrolles, 1972.
43. ALUCCI, M.P.- Procedimentos para otimização da iluminação natural visando economia de energia elétrica. Centro de Pesquisas Elétricas (CEPEL), Rio de Janeiro, 1990.
44. HIRST, E. et alii.- Energy efficiency in buildings: progress and promise. American Council for an Energy-Efficient Economy, Series on Energy Conservation and Energy Policy, Washington, 1986
45. GOMES, R.J.- O problema do conforto térmico em climas tropicais subtropicais. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1967.
46. MASCARO, L. & MASCARO J.- Uso racional de energia elétrica em edificações. Iluminação. Agência para Aplicação de Energia. S. Paulo, 1991
47. LAMBERTS, R.- Características térmicas de materiais de construção (dados compilados e não divulgados), Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 1992.
48. RIVERO, R.O. - Vivienda. Montevideo, Facultad de Arquitectura de Montevideo, 1970
49. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6401 - Instalações centrais de ar condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto-Procedimentos. Rio de Janeiro, 1978.
50. LOMARDO, L.L.B.- Consumo de energia em grandes prédios comerciais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.
51. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A.
-Formulação de requisitos e critérios para avaliação do desempenho de habitações térreas quanto à ventilação. São Paulo, 1982 (relatório IPT nº 17918)
52. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT.- Règles de calcul de caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Paris. (Document Technique Unifié, REEF 58).

53. WEINBERG,A.-.A conjugação do projeto de iluminação com os demais sistemas energéticos.Seminário de Conservação de Energia na Iluminação.Rio de Janeiro,1984.Série Conservação de Energia nº 1,RJ,1985
54. FONTOYNONT, M. and BATARD, P. - Lumière naturelle et environnement. Third International Congress on Building Energy Manegement, Switzerland, 1987.
55. RIVERO,R.O.- Eficácia de alguns sistemas de parasoles ante la radiación solar, Montevideo. Serviço de climatologia Aplicada a la Arquitectura, Universidad de la Republica, 1987 .
- 56 . FORGET, L. et STORMS, M. - Isolation thermique des toits plats. Bruxelles, 1974 (REVUE n° 4 - SCTC)
57. IES LIGHTING HANDBOOK. New York, Illuminating Engineering Society of North America, 1981.
58. DOGNIAUX, R. and DUCHATEAU, W. and PAGNOULE, L. - Prediction of daylight and energy-saving. Simposium on Daylight : Physical, Psydological and Architectural Aspects. Berlin, 1980.
59. GELLER,H. S.-The Potencial for Eletricity Conservation in Brasil.SP,CESP,1984
60. FONSECA, M. R. - Desenho Solar. São Paulo, IAB-BA / Projeto Editores Associados. 1983.
61. GONÇALVES,H.O -Sol nos Edifícios.Rio de Janeiro,Lemos,1957.
62. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT.- Éclairage Naturel et Artificiel. Paris, s/d (REEF E2).
63. CHAULIAGUET, C. - L'Énergy Solaire dans le Bâtiment. Paris, Eyrolles, 1979.
64. COMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE.- Sunlight in Buildings. Rotterdam, Bowcentrum International, 1967. (CIE International Conference, Universidade de Newcastle-Upon-Tyne, 5-9 Abril de 1965).

65. DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT WELSH OFFICE. - Sunlight and Daylight: Planning, Criteria and Design of Buildings. Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1971.
66. HOPKINSON, R.G. et Alli. - Iluminação Natural. Lisboa, Fundação Calouste Gulbekian, 1975.
67. IES LIGHTING HANDBOOK. Nova Iorque, Illuminating Engineering Society of North America, 1981.
68. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.S.A- Dimensionamento de Aberturas e Proteções Solares. São Paulo, 1978 (Relatório IPT nº 13.257).
69. PRADO, L.C.- Iluminação, Capítulos I - XX. São Paulo, FAU-USP, 1970 (Apostila de Curso).
70. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413 - Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1982.
71. INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES. IRAM AADL J 20-D2.
72. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 8206: Part 1: 1985. Lighting for Buildings Part 1: Code of Practice for Artificial Lighting. Londres, 1985.
73. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 5035 - Artificial Lighting of Interiors, Part 6. Berlin, 1983.
74. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 5035 - Iluminação Interna de Locais com Luz Artificial: Recomendações Especiais para Diversos Problemas de Iluminação. Tradução do IPT. São Paulo, 1972.
75. SELKOWITZ, S. - Influence of Windows on Building Energy Use. Lawrence Berkeley Laboratory, California, EUA, 1984.

76. _____ - Window Performance and Building Energy Use: Some Technical Options for Increasing Energy Efficiency. Lawrence Berkeley Laboratory, California, EUA, 1985.

77. SELKOWITZ, S. e GRIFFITH, J.W.- Effective Daylighting in Buildings - Revisited. Lawrence Berkeley Laboratory, California, EUA, 1986.

78. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE & ASHRAE.-Thermal environment conditions for human occupancy,(ANSI/ASHRAE 55-1981).

ANEXO A

A Normalização Brasileira e a Conservação de Energia Elétrica

As iniciativas brasileiras para normalizar os aspectos que envolvem o conforto ambiental e a conservação de energia elétrica para condicionamento artificial das edificações, oficialmente tiveram início em 1985, com a implantação do PROCEL-Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

Os projetos de pesquisa aprovados no âmbito desse Programa incluíam, como produto final, propostas de texto-base para subsidiar futuras Normas. No entanto, apesar de chegarem a resultados passíveis de Normalização, nenhum dos Projetos apresentou qualquer documento que, a curto prazo, tivesse condições de ser encaminhado à ABNT/COBRACON (Comite Brasileiro da Construção Civil).

Em janeiro de 1991, por iniciativa do Governo Federal, foi criado o GERE-Grupo Executivo do Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso de Energia (Portaria 191, de 12/10/1990 da SCT, publicada no DOU de 15/10/1990, pg. 5611).

Dentre os grupos de trabalho instituídos pelo GERE, foi criado o "Grupo de Trabalho para o Estabelecimento de Legislação Normativa sobre Índices Mínimos de Eficácia Energética para Novas Edificações". Em janeiro de 1991, tal GT, coordenado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia, elaborou documento cuja proposta pode ser "dividida em dois grandes blocos:

- as que criam mecanismos para que os princípios de conforto e eficiência energética sejam incorporados aos projetos das edificações, e
- as que criam as condições para a formulação de índices de desempenho energético".

Para planejar, coordenar, implantar e avaliar essas ações, o referido Documento propõe a criação de órgão centralizador federal: a COMISSÃO DE EFICIENCIA ENERGETICA DAS NOVAS EDIFICAÇÕES- CENE.

São dois os mecanismos sugeridos pelo GT, para que os princípios de conforto e eficiência energética sejam incorporados aos novos projetos:

- usá-los como critério prioritário para a liberação de financiamentos para a construção civil, e

- usá-los na definição dos valores das taxas de ligação de eletricidade das novas edificações.

A primeira medida, para ser eficaz, "deve ser acompanhada de Manuais Técnicos de orientação de Projetos das novas edificações, que indiquem as formas de obter maior eficiência na utilização da energia elétrica" na fase de uso de uso das mesmas.

Tais Manuais " devem levar em conta as diversidades climáticas e culturais do país , informar sobre características dos materiais de construção e fornecer métodos e procedimentos que permitam avaliar o desempenho térmico e energético das edificações ainda na fase de projeto.

A título de contribuição para a normalização e legislação brasileira no assunto em questão, o GT acima citado, propôs a realização de um **Programa de Ação** , recomendando as seguintes ações:

Nota: O texto abaixo é a transcrição do Documento gerado pelo "Grupo de Trabalho para o Estabelecimento de Legislação Normativa sobre Índices Mínimos de Eficácia Energética para Novas Edificações" .

1. Priorização na concessão de financiamento à construção de novas edificações, em seus diversos setores, a empreendimentos que atendam aos princípios de conforto ambiental e eficiência energética;
2. Alteração da Portaria nº 222, de 22/12/87 do Departamento nacional de Aguas e Energia Elétrica-DNAEE, que trata das condições gerais de fornecimento de energia elétrica, no que se refere a taxa de ligação como mecanismo para estimular a maior eficiência energética nas novas edificações;
3. Formação e disseminação de um Banco de Dados Climatológicos, segundo

critérios adequados a avaliação de desempenho energético e conforto ambiental;

4. Formação e disseminação de um Banco de Dados relativos às características físicas de materiais e de elementos de construção;

5. Formação de recursos humanos para suporte técnico aos programas de uso racional e conservação de energia nas edificações;

6. Incentivo ao desenvolvimento de estudos e pesquisas regionais voltadas ao acompanhamento sistematizado dos produtos e resultados dos mesmos em todas as etapas do processo de produção da edificação (projeto, construção, uso e manutenção) com vistas a possibilitar a determinação de índices de desempenho energético;

7. Realização de campanha, a nível nacional, das possibilidades de conservação de energia nas edificações;

8. Recomendações de providências aos governos estaduais e municipais, bem como às instituições de ensino e pesquisa oficiais e privadas, às associações de classes, às instituições normativas e às concessionárias de serviços públicos, visando:

a. adaptação das normas relativas a edificação e uso do solo, no que se refere à eficiência energética e conforto ambiental, respeitando-se os preceitos dos aspectos climáticos, racionalização e conservação de energia;

b. consideração da maior eficiência energética no desenho urbano, nas edificações e equipamentos, no planejamento do sistema elétrico de distribuição, evitando seu superdimensionamento;

c criação de normas oficiais, referente ao desempenho energético das novas edificações, assim como a adaptação das normas existentes considerando o uso racional e conservação de energia;

d. promoção da classificação das edificações segundo a sua categoria de eficiência energética predial;

e. estabelecimento de incentivos à maior eficiência energética através de taxas , tarifas e impostos;

f. promoção da assinatura de protocolo com entidades representativas de setores de consumo de energia, objetivando fixar limites e redução de potência e consumo para segmentos específicos nas suas novas edificações;

g. consideração das ações já desenvolvidas e resultados obtidos, pelos diversos organismos do país, na área de racionalização e conservação de energia em novas edificações;

9. Criação da Comissão de Eficiência Energética nas Novas Edificações (CENE), com a atribuição de planejar, coordenar, implementar, acompanhar e avaliar as ações estabelecidas neste Programa de Ação.

Comentários

1. Apesar do Documento acima ter sido concluído em janeiro de 1991, ainda não foi implementada nenhuma das ações previstas no mesmo (ações voltadas para novas edificações).

2. Para o quinquênio 1991/1995, as "Estratégias de Conservação de Energia Elétrica" formuladas e divulgadas em julho de 1991 pelo PROCEL- Programa de Energia Elétrica (Programa instituído pela Portaria Interministerial nº 1877 de 31/12/1985), estabeleceram que "....." no caso das edificações brasileiras o PROCEL deverá concentrar-se no estabelecimento de normas técnicas e legais, visando definir índices mínimos de eficiência energética (W/m²).

3. Apesar das iniciativas e esforços configurados nos Programas anteriormente citados, observa-se que a ausência de uma coordenação a nível nacional, vem inviabilizando uma proposta de legislação/ normalização voltada ao equacionamento da questão "Conforto Ambiental/Conservação de Energia Elétrica" nas edificações.

4. Observa-se que a participação de associações de classe diretamente ligadas ao projeto e construção de novas edificações (IAB- Instituto de Arquitetos do Brasil, IE-Instituto de Engenharia e outros) não vem ocorrendo nas discussões que deverão gerar os novos parâmetros de Projeto e Construção. Este fato poderá, a medio prazo, gerar resistência na implantação de uma possível legislação e normalização voltada aos aspectos do conforto ambiental e conservação de energia

De um modo geral, as Normas que hoje estão em vigor nos diferentes países e que determinam as Condições de Conforto são destinadas aos ambientes condicionados artificialmente e sua elaboração e/ou revisão tem sido estimulada pela necessidade de conservação de energia elétrica.

Anexo B

Dados para Subsidiar a Aplicação dos Procedimentos

Estação	a	b
Rio Branco	0.42	0.50
Manaus	0.20	0.65
Salvador	0.23	0.49
Fortaleza	0.13	0.59
Brasília	0.18	0.49
São Luiz	0.30	0.32
Cuiaba	0.34	0.28
Belo Horizonte	0.23	0.38
Belém	0.25	0.31
João Pessoa	0.33	0.32
Recife	0.35	0.23
Campinas (S.P)	0.25	0.56
São Paulo	0.32	0.39

Extraído da Referência Bibliográfica nº 17

Figura B.1: Valores das constantes a e b para cálculo da radiação solar global ao nível do solo, para várias cidades do país

materiais	coeficiente de absorção (α_f)
coberturas	
telha de barro	0.65 a 0.80
chapa fibrocimento	0.65 a 0.80
chapa alumínio	0.40 a 0.65
fachadas	
tijolo à vista	0.65 a 0.80
concreto	0.65 a 0.80
pedra escura	0.65 a 0.80
pedra clara	0.50 a 0.70
vidro comum	0.05
pinturas	
branca	0.12 a 0.18
amarela	0.30 a 0.48
vermelha	0.74
verde	0.73
preta	0.97
tinta alumínio	0.30 a 0.50

Fonte: Gomes, R.J (45)

Figura B.2: Valores do coeficiente de absorção (α_f).

Posição da superfície	Direção do fluxo de calor	Emissividade superficial (E)		
		Não refletora	Refletora	
		E=0.90	E=0.20	E=0.05
		hi	hi	hi
Ar parado				
Horizontal	para cima ↑	9.26	5.17	4.32
Inclinada 45°	para cima ↑	9.09	5.00	4.15
Vertical	horizontal ← →	8.29	4.20	3.35
Inclinada 45°	para baixo ↓	7.50	3.41	2.56
Horizontal	para baixo ↓	6.13	2.10	1.25
Ar em movimento		he		
*v= 6.7m/s (inverno)	qualquer	34.08		
v= 3.4m/s (verão)	qualquer	22.72		

* v=velocidade do ar

he e hi em $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Fonte: ASHRAE (11)

Figura B.3: Valores de condutância térmica superficial (hi e he), em $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Material	Massa específica aparente (d) (kg/m³)	Condutibilidade térmica (cd) (W/m°C)	Calor específico médio (1) (ce) (kJ/kgm³)
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0.045	
lã de vidro	10-200	0.045	0.66
poliestireno expandido extrudado	25-40	0.035	
espuma rígida de poliuretano	30-40	0.030	1.59
materiais granulados leves ou fibras soltas	20-100	0.050	
Pedras (inclui junta de assentamento)			
granito	2300-2900	3.0	0.83
ardósia, xisto	2000-2800	2.2	0.83
basalto	2700-3000	1.6	0.83
calcários			
mármore	> 2590	2.9	0.83
outros	2350-2590	2.4	0.83
	1840-2350	1.4	0.83
	1480-1840	1.0	0.83
	≥ 1480	0.85	0.83
Material cerâmico			
tijolos e telhas de barro	1800-2000	1.15	0.91
Concretos (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1.75	1.0
concreto cavernoso	1700-2100	1.40	
concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (massa volumétrica dos inertes ~ 750kg/m ³)			
com finos	1400-1600	0.52	
	1200-1400	0.44	
sem finos	1000-1200	0.35	0.82
Extraído de material preparado por Lamberts, R.(1992)(47)			
(*) Extraído de Rivero, R(48)			

Figura B.4: Dados de condutibilidade térmica, massa específica aparente e calor específico.

Material	Massa específica aparente (d) (kg/m ³)	Condutibilidade térmica (cd) (W/m°C)	Calor específico médio (*) (ce) (kJ/kgm ³)
concreto com argila expandida (dosagem de cimento $\geq 300\text{kg/m}^3$) massa volumétrica aparente dos inertes $> 350\text{kg/m}^3$	1600-1800	1.05	
	1400-1600	0.85	
	1200-1400	0.70	0.81(**)
	1000-1200	0.46	0.82(**)
dosagem de cimento $\leq 250\text{kg/m}^3$ - massa volumétrica aparente dos inertes $\leq 350\text{kg/m}^3$	800-1000	0.33	
	600-800	0.25	
	≤ 600	0.20	
concreto de vermiculita (3 a 6 mm) ou perlite fabricado em obra dosagem(cimento/areia)	1/3	0.31	
	1/6	0.24	0.88(**)
concreto celular auto-clavado	800kg/m ³	0.33	
	750	0.24	0.88(**)
	700	0.27	
	650	0.24	
	600	0.22	
	550	0.20	
	500	0.18	
	450	0.17	
concreto de aparas de madeira em placas produzido em fábrica	450-550	0.15	
	350-480	0.12	

Extraído de material preparado por Lamberts,R.(1992)(47)

(*) Extraído de Rivero,R(48)

(**)IPT(12)

Figura B.4: continuação da tabela anterior.

Material	Massa específica aparente (d) (kg/m³)	Condutibilidade térmica (cd) (W/m°C)	Calor específico médio (ce) (kJ/kgm³)
Madeiras e derivados			
madeiras com massa volumétrica elevada	800-1000	0.29	1.63(**)
freixo, carvalho, pinho, cedro, pinus	600-750	0.23	1.63(**)
	450-600	0.15	1.63(**)
	300-450	0.12	1.63(**)
balsa	60-120	0.052	
aglomerado de fibras de madeira:			
denso	850-1000	0.20	
leve	200-250	0.058	
placas prensadas	650-750	0.17	
	550-650	0.14	
	450-550	0.12	
	350-450	0.10	
placas extrudadas	550-650	0.16	
contraplacado	450-550	0.15	
	340-450	0.12	
Vidros			
chapa de vidro	2700	1.10	0.83(*)
Produtos impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0.23	1.66(*)
Outros			
brita ou seixo	1000-1500	0.70	
argila expandida	≤400	0.16	
Extraído de material preparado por Lamberts, R. (1992) (47)			
(**) IPT (12)			
(*) Rivero, R. (48)			

Figura B.4: continuação da tabela anterior.

Material	Massa específica aparente (d) (kg/m³)	Condutibilidade térmica (cd) (W/m°C)	Calor específico médio (ce) (kJ/kgm³)
Argamassa de reboco e assentamento de tijolos e blocos			
argamassa comum	1800-2100	1.15	0.84(**)
Fibro cimento			
placas de fibro cimento	1800-2200	0.95	
	1400-1800	0.65	
Gesso			
projetado	1100-1300	0.50	
tradicional; cartonado	750-1000	0.35	1.09(**)
gesso com agregado leve (vermiculite ou perlite expandida)			
dosagem (gesso agregado)			
1/1	700-900	0.30	
1/2	500-700	0.25	
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0.40	
acrílicos	1200-1400	0.20	
PVC			
Extraído de material preparado por Lamberts, R. (1992) (47)			
(**) IPT (12)			

Figura B.4: continuação da tabela anterior.

Tipo de Vidro	Fator Solar (FS)
Vidro comum transparente	0.86
Vidro cinza	0.66
Vidro atérmico verde claro	0.60
Vidro atérmico verde escuro	0.49
Vidro usado como proteção externa de vidro comum	
Vidro cinza	0.45
Vidro atérmico verde claro	0.39
Vidro atérmico verde escuro	0.22

Tipo de Proteção	Cor do Elemento de Proteção			
	clara	média	escura	preta
Proteção externa				
Persiana de madeira (e=1cm), vertical	0.05	0.08	0.10	0.13
Persiana de madeira (e=2cm), vertical	0.04	0.07	0.09	0.11
Persiana metálica, vertical	0.07	0.10	0.13	0.16
Persiana de madeira, projetada à italiana	0.09	0.09	0.10	0.11
Proteção entre dois vidros				
Veneziana de lâminas à 45°	0.24	0.31	0.38	0.44
Cortina opaca	0.21	0.28	0.36	0.43
Cortina pouco transparente	0.24	0.32	0.40	-
Proteção interna				
Persiana de lâminas finas, vertical	0.39	0.50	0.60	0.70
persiana de lâminas finas, a 45°	0.51	0.62	0.70	0.76
Cortina opaca	0.34	0.45	0.57	0.66
Cortina pouco transparente	0.36	0.47	0.59	-
Cortina muito transparente	0.39	0.50	0.51	-

Extraído de Frota, A.B. (49)

Figura B.5: Fator Solar (FS) de vidros e proteções de vidros simples.

Atividade	Calor Metabólico	Calor Sensível	Calor Latente
durante o sono (basal)	80	40	40
sentado, em repouso	115	63	52
em pé, em repouso	120	63	57
escritório(atividade moderado)	140	65	75
em pé, trabalho leve	145	65	80
datilografando	160	65	95
andando	220	75	145
trabalho leve, em bancada	255	80	175
descendo escada	420	140	280
subindo escada	1280	-	-
esforço máximo	870 a 1400	-	-

Extraído: Frota A. B.(49)

Figura B.6: Calor cedido ao ambiente (em W),segundo atividade desenvolvida pelo indivíduo.

S.Paulo, 19 de novembro de 1992.