

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES*
VIRGÍNIA MARIA DANTS DE ARAÚJO **

ORIENTADOR : PROF. FRANCISCO ROMEU LANDI

ARAÚJO, Virgínia M.D. Aplicação de Método de Simulação do Desempenho Térmico de Edificações. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987 - BT PCC 15/87

Este trabalho propõe um método que analisa e compara a influência dos condicionantes térmicos e construtivos, na variação da temperatura do ar interior de um protótipo em função de modificações simuladas, tanto a nível da orientação, como a nível do projeto em si através da utilização do programa de computador NBSLD. Os resultados comparativos destas simulações sugerem alguns aspectos térmicos a serem considerados no projeto de edificações habitacionais térreas, a fim de adequá-la ao clima da região de estudo.

ARAÚJO, Virgínia M.D. Application of Building Thermal Performance Method. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987 - BT PCC 15/87

This work suggests a method to analyze and compare the influence of thermal constructive aspects on temperature variations inside of a house's prototype, as a function of simulated modifications, such as the house position in relation to the prevalent wind direction, and the project design itself, through the use a computer program - NBSLD. The comparative results obtained through those simulations indicate some thermic aspects that must be considered when designing low rise dwellings so that it can fitted to the study region's climate.

* Resumo de Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP.
** Professora do Departamento de Arquitetura da UFRN:

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

1. INTRODUÇÃO

O problema da adequação da arquitetura ao clima tem sido objeto de estudos detalhados nos grandes centros de pesquisa, principalmente na Europa e na América do Norte. No entanto, nem todos os resultados dessas pesquisas disponíveis na literatura são aplicáveis diretamente à nossa realidade, devido às diferenças existentes, tanto nos materiais, quanto nas condições climáticas. No Brasil, são poucos os trabalhos existentes na área de estudo, havendo assim a necessidade de se intensificar esforços no sentido de produzir e divulgar trabalhos para alertar os profissionais envolvidos direta ou indiretamente com o problema. Neste contexto, os edifícios que se constroem no país são inadequados do ponto de vista climático.

São várias as causas desta inadequação. A principal é a dependência tecnológica-cultural imposta ao terceiro mundo pelos países desenvolvidos. Então, o que se constata é a chamada "arquitetura internacional", sem nenhuma filtragem com relação ao ambiente climático.

Outra causa, bem relacionada com a primeira diz respeito ao modo de produção capitalista, que reduz o edifício à condição de mercadoria, onde este perde, assim, suas características de bem de uso, para a condição de bem de troca. Então, todos os fatores de terminantes para o projeto, no que concerne ao conforto higrotérmico-acústico-luminoso, são relegados a segundo plano, frente a fatores como o aumento de produção, lucros, aparência e status.

A própria formação dos profissionais envolvidos com o problema contribui para essa situação, na medida em que as Escolas não dedicam especial atenção à questão. E mesmo as que se preocupam, encontram inúmeras dificuldades, seja quanto aos recursos materiais (laboratórios, bibliografias), seja quanto a recursos humanos (professores especializados).

Além disso, tal inadequação tem um custo social incalculável. Por um lado, gerando um profundo desconforto térmico para o usuário e comprometendo, assim, sua saúde e sua disposição para as diversas atividades. Por outro lado, onerando os gastos com instalações de equipamentos mecânicos (condicionadores de ar, ventiladores, etc.), que contribuem para um aumento no consumo da energia.

Então, no Nordeste Brasileiro, todas estas situações ficam ainda mais evidenciadas, dada as suas condições sócio-econômicas, culturais e, a mais importante, a climática. Daí, portanto, a necessidade de trabalhos que informem e subsidiem os projetistas, para elaborarem projetos mais adequados ao clima.

No nosso país, tal problema foi pouco estudado, tendo-se como referência (01) (08) (10)

sendo que a dissertação de mestrado sob título "Recomendações para Adequação de uma Edificação ao Clima, no Estado de São Paulo" (01) foi a primeira a analisar a questão. O referido trabalho levantou as características de verão e inverno para diferentes regiões do Estado de São Paulo, definiu os requisitos que deveriam ser atendidos pelos componentes da edificação e produziu um conjunto de recomendações relativas às características térmicas de coberturas, paredes e janelas. Adotando este mesmo procedimento o IPT, por iniciativa do BNH, estabeleceu recomendações para todo o Brasil a nível de regiões climáticas, que se encontram no Relatório nº 16.277, sob o título "Avaliação de Desempenho de Habitações Terreas Unifamiliares" (10).

Por último, a também dissertação de mestrado "Considerações sobre o Desempenho Térmico de Edifícios na Região de Natal (RN) - Estudo de Caso: Edifício em Conjunto Habitacional" (08), avaliou o desempenho térmico de edificações de interesse social na mesma região do trabalho ora apresentado, em função da mudança nas orientações dos componentes de um determinado edifício tipo. De certa forma, suas contatações foram reavaliadas através do presente trabalho.

Projetar uma edificação adequada ao clima, implica levar em conta os condicionantes climáticos da região (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e ventos), as exigências de conforto térmico dos usuários e as características térmicas e construtivas do edifício.

Tal processo, no entanto, envolve não só o conhecimento de quais são estes fatores, como também, de como levá-los em consideração no projeto. Portanto, neste trabalho, inicialmente, procede-se o levantamento dos fundamentos do problema e, em seguida, propõe-se uma metodologia que analisa e compara a influência da ocupação, dos condicionantes térmicos e construtivos na variação da temperatura do ar interior de um protótipo na região de Natal (RN), para a época de verão em função de modificações simuladas, tanto a nível da orientação, como a nível do projeto em si, através de um programa de computador. E baseado nos resultados comparativos destas simulações, sugere alguns aspectos térmicos a serem considerados no projeto de construções habitacionais terreas, a fim de adequá-lo ao clima da região de estudo.

2. A PROBLEMÁTICA DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

"O desempenho térmico de uma edificação é o resultado da interação que se estabelece entre a edificação e o ambiente térmico a qual a mesma está submetida" (15). Neste contexto, um grande número de fatores devem ser considerados para se chegar a caracterizar o desempenho térmico através de méto

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

dos não experimentais. Dessa forma, podemos considerar três classes distintas de fatos, cujas variáveis mais significativas são listadas a seguir:

Fatores Climáticos:

- temperatura do ar exterior;
- umidade relativa do ar exterior;
- velocidade e direção dos ventos;
- radiação solar direta e difusa.

Fatores da Edificação:

- latitude e longitude;
- geometria e orientação;
- tipo de entorno;
- tipos e distribuição de aberturas;
- dispositivos de sombreamento;
- propriedades térmicas dos materiais, elementos e componentes;
- tipos e distribuição de objetos no interior da edificação.

Fatores de Ocupação:

- número de ocupantes e atividades exercidas por eles;
- quantidade de calor e de vapor d'água produzido no interior da edificação.

Os fatores climáticos e de ocupação representam, basicamente, o ambiente térmico ao qual a edificação está exposta, enquanto que os fatores inerentes à edificação representam os meios de que se dispõe para reagir a este meio, gerando um ambiente térmico característico no interior da edificação. No entanto, existe um número muito grande de fenômenos envolvidos nos processos de determinação das condições térmicas internas. As condições externas (climáticas) variam periodicamente em relação ao tempo e até apresentam comportamento aleatório, além de estabelecerem relações diferentes com os vários componentes da edificação e com as próprias condições internas a cada instante. Além disso, ocorrem trocas térmicas entre os objetos no interior dos ambientes e destes com os componentes estruturais internos e, ainda, considera-se o calor originado diretamente no interior dos ambientes pela ocupação (pessoas, lâmpadas, aparelhos domésticos e equipamentos). Todos estes processos envolvem transferência de energia de uma região para outra, resultante de uma diferença de temperatura entre elas. Esta transmissão verifica-se no sentido de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa e conservação de energia, ou seja, são iguais as quantidades de calor cedidas e recebidas pelos corpos de maior e menor temperatura, respectivamente. A temática envolvida na caracterização do desempenho térmico de edificações tem despertado a atenção de muitas instituições

de pesquisas, tanto a nível nacional, quanto internacional. Com o crescente avanço na utilização de computadores digitais, os métodos computacionais estão, cada vez mais, encontrando extensa aplicação na resolução desses problemas, principalmente quando se quer obter resultados com um grau razoável de precisão, pois os métodos simplificados são necessariamente baseados em suposições muito limitativas, na maioria das vezes distantes da realidade e, portanto, de pouca aplicabilidade.

Um método ideal deveria permitir ao projetista prever com razoável precisão e facilidade como o desempenho térmico da edificação ou as cargas térmicas de resfriamento e aquecimento (necessárias para manter o ambiente em condições desejáveis) variam com o tempo, seja ao longo de um dia, seja ao longo de um ano. Dessa forma, comumente, encontram-se quatro tipos de problemas:

- a) Cálculo da temperatura do ar interior na ausência de condicionamento artificial do ambiente;
- b) Cálculo da temperatura do ar interior, quando alguma quantidade de calor é removida ou adicionada ao ambiente e a temperatura do ar interior é variável;
- c) Cálculo das cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter a temperatura do ar interior num valor constante conhecido;
- d) Cálculo das cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter a temperatura do ar interior em valores variáveis dentro de intervalos pré-fixados.

Além disso, quanto às variáveis climáticas que caracterizam o ambiente térmico exterior, podem ser classificadas como funções periódicas ou apresentarem componentes aleatórias em relação ao tempo. As primeiras permitem análises praticamente exatas e são representativas das "condições típicas" de projeto. No entanto, as segundas implicam em soluções mais complexas e devem ser consideradas quando se quer avaliar o consumo de energia num grande período de tempo. Basicamente, três métodos computacionais tratam o problema da transmissão de calor em regime não permanente, ou seja, variável com o tempo:

- a) Método Numérico
- b) Método Harmônico
- c) Método dos Fatores de Resposta.

As vantagens e limitações de cada uma destas técnicas foram analisadas por Gupta et alii (09), em função da facilidade de computação e do grau de exatidão com qual elas lidam com as considerações, tais como: a condução térmica através das várias camadas

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

que constituem as paredes e cobertura; a capacidade térmica da estrutura interna dos elementos e componentes; as cargas radiantes internas e as trocas por convecção e radiação; a operação termostática e a capacidade de definição da variação da temperatura interna; a variação da ventilação interna; o sombreamento; os coeficientes superficiais de transmissão térmica e o fluxo de calor através do piso.

3. O PROGRAMA NBSLD

Com a elaboração do programa de computador NBSLD (National Bureau of Standards Load Determination), o método dos fatores de resposta térmica teve sua aplicação prática voltada à edificação. O referido programa foi desenvolvido em linguagem Fortran no Departamento de Engenharia Ambiental do National Bureau of Standards, E.U.A., com o objetivo de tornar acessível aos projetistas a avaliação do desempenho térmico de edificações. De operação relativamente simples, o programa permite o cálculo de cargas térmicas de aquecimento e/ou resfriamento de ambientes, bem como o temperatura do ar interior, quando os mesmos não são condicionados, com um grau de precisão até então não viabilizado de forma pouco complexa. O programa NBSLD foi modificado e adaptado no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), tornando-se compatível com as características climáticas e a posição geográfica do nosso país e de acordo com as nossas necessidades. Vale lembrar que esse programa foi elaborado para aplicação no hemisfério Norte e de acordo com as características climáticas próprias dos Estados Unidos. Neste trabalho, a aplicação do programa NBSLD deve-se aos objetivos desta na simulação do desempenho térmico de edificações e à participação como colaboradora na sua adaptação no IPT. A seguir, é apresentada a estrutura do programa, as suas várias opções de cálculo, suas limitações e simplificações.

3.1. DESCRIÇÃO DAS SUB-ROTINAS DO PROGRAMA NBSLD

O programa NBSLD é formado por sub-rotinas, que podem ser utilizadas separadamente do programa principal, permitindo obter soluções intermediárias de grande utilidade, como pode ser observado na descrição dessas sub-rotinas a seguir, obedecendo-se a ordem de chamada no programa principal. As demais sub-rotinas, de caráter meramente operacional, são apenas mencionadas no decorrer da descrição de cada uma. Os algoritmos de cálculo podem ser encontrados no manual do programa (12). O diagrama esquemático da Figura 1 ilustra o inter-relacionamento entre as diversas sub-rotinas do programa.

SUB-ROTINA RESFX: esta sub-rotina, juntamente com as sub-rotinas auxiliares RESF, RESPTK, ABCD2, ABCDP2, DERVT e MULT, permite o cálculo dos "fatores de resposta térmica" (thermal response factors) de elemento de edificações, simples ou compostos de camadas, desde que se conheçam os valores das grandezas que caracterizam o comportamento térmico dos materiais e elementos. É possível determinar os "fatores de resposta térmica" de elementos planos constituídos de até nove camadas homogêneas.

SUB-ROTINA ROOMX: através desta sub-rotina, são lidos os dados de entrada referentes às dimensões geométricas do(s) recinto(s) e calculados os seguintes parâmetros: os fatores de forma para trocas de calor por radiação ocorridas entre as superfícies interiores do recinto, através da sub-rotina auxiliar FCTR e da função F; a condutância térmica do piso, através da sub-rotina auxiliar SLABRX; a temperatura média do solo na profundidade de 0,30m, através da sub-rotina auxiliar GTEMP.

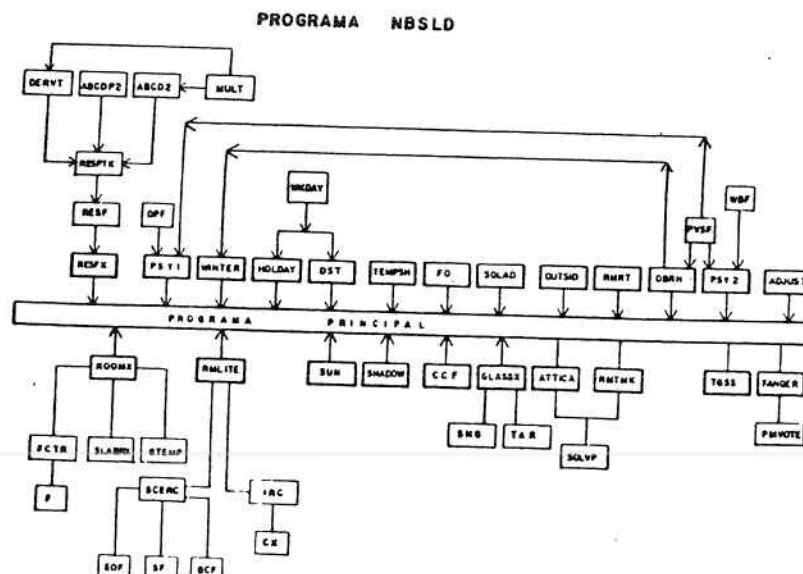


Figura 1 - Diagrama Esquemático do Programa NBSLD

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

SUB-ROTINA PSYL: esta sub-rotina, como também a PSY2, efetua os cálculos referentes às propriedades psicrométricas do ar úmido. Nesta sub-rotina, dados os valores da pressão barométrica, da temperatura de bulbo seco e da temperatura de bulbo úmido, são determinados os valores da temperatura do ponto de orvalho, da pressão de vapor, da taxa de umidade do ar (massa de água, por unidade de massa de ar seco), da entalpia de ar úmido, da umidade relativa do ar e do volume de ar úmido por unidade de massa de ar seco.

As diversas correlações entre as grandezas que caracterizam as propriedades psicrométricas do ar úmido podem ser conhecidas de diferentes maneiras, permitindo obter diversos conjuntos de dados de entrada e saída. As funções DPF e PVSF fazem parte desta sub-rotina, com as seguintes atribuições:

- Função DPF: calcula a temperatura do ponto de orvalho, em função da pressão de vapor.
- Função PVSF: calcula a pressão de vapor do ar úmido saturado, em função da temperatura de bulbo seco.

SUB-ROTINA WINTER: calcula as cargas térmicas de aquecimento para os "dias típicos de projeto". Esta sub-rotina utiliza a sub-rotina DBRH.

SUB-ROTINA RMLITE: estima os valores horários do nível de aclaramento luminoso num ponto dado do recinto, quando se conhece os valores do aclaramento exterior, sem considerar a incidência solar direta, segundo o método do "coeficiente de luz diurna". Esta sub-rotina utiliza as sub-rotinas auxiliares SCERC e IRC e as funções EOF, SF, BCF e CX.

SUB-ROTINA HOLIDAY: tem a função de identificar os feriados que são importantes no cálculo do consumo de energia decorrente de condicionamento artificial de ambientes comerciais durante o ano. Esta sub-rotina utiliza a função WKDAY.

SUB-ROTINA DST: é utilizada para identificar os dias que fazem parte do esquema de economia de energia. Esta sub-rotina utiliza a função WKDAY.

SUB-ROTINA SUN: estima os valores horários da quantidade de energia solar global em superfícies horizontais e verticais ou inclinadas, por unidade de área, sob condições de céu limpo.

SUB-ROTINA SHADOW: destina-se à determinação da razão entre a área insolarada e a área sombreada das aberturas, quando estas dispõem de elementos de proteção solar, onde as sombras são determinadas por diversas combinações de elementos verticais e/ou ho-

rizontais.

SUB-ROTINA TEMPSH: é utilizada somente quando se executa cálculo de cargas térmicas e refere-se às temperaturas fixadas para o termostato.

SUB-ROTINA FO: calcula a condutância térmica superficial (superfícies exteriores), em função do tipo de superfície e da velocidade e direção relativa do vento nas proximidades da superfície.

SUB-ROTINA CCF: calcula os coeficientes de correção que permitem estimar a quantidade de energia solar disponível ao nível do solo em dias nublados, em função da quantidade de energia solar total que seria observada sem a presença de nuvens, nas mesmas condições. Para tal, são fornecidos os valores de nebulosidade e os tipos de nuvens classificadas segundo quatro níveis, além do nível de aclaramento teórico ao nível do solo em condições de céu limpo.

SUB-ROTINA SOLAD: calcula a quantidade de energia solar global, juntamente com as componentes direta e difusa incidentes numa dada superfície, horizontal ou vertical, por unidade de área, hora a hora, para quaisquer condições de céu. Para tal, são utilizados os dados correspondentes a céu limpo, calculados na sub-rotina SUN e os coeficientes de correção para céu nublado calculados na sub-rotina CCF.

SUB-ROTINA GLASSX: calcula a quantidade de energia solar, por unidade de área, por unidade de tempo, ganha pelo ambiente através de janelas e portas de vidro, utilizando as sub-rotinas auxiliares SHG e TAR. A sub-rotina TAR pode ser utilizada independentemente para calcular os valores da transmitância, da absorptância e da refletância à radiação solar direta e difusa dos elementos transparentes, em função do ângulo de incidência da radiação solar.

SUB-ROTINA ATTICX: calcula os valores da temperatura do ar no interior do espaço ático e os valores das temperaturas e dos fluxos de calor nas superfícies do telhado e do forro. O ático é considerado como um ambiente especial, onde são levadas em conta todas as trocas de calor entre o telhado, o forro e as vedações laterais do mesmo, bem como o exterior e o ambiente ocupado logo abaixo. A aplicação desta sub-rotina está restrita às coberturas planas e a ventilação do espaço ático é pré-determinada em taxa de ventilação do mesmo, o que acarreta uma certa limitação do modelo. Esta sub-rotina utiliza a sub-rotina auxiliar SOLVP.

SUB-ROTINA OUTSID: calcula os valores da temperatura e do fluxo de calor por unidade de área, nas superfícies exteriores dos ele-

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

mentos do recinto, através de equação de balanço de calor nessas superfícies. São considerados nesse balanço, a radiação solar incidente, as trocas de calor com o céu, o entorno e o ar exterior, bem como o calor que flui na superfície, devido ao processo de condução através do elemento.

SUB-ROTINA RMRT: tem a função de efetuar o cálculo aproximado das cargas de resfriamento de um ambiente, segundo procedimento descrito do manual do programa (12), proposto por D.G. Stephenson e G. P. Mitalas.

SUB-ROTINA RMTMK: calcula a temperatura do ar ou as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento do recinto, em função da opção de processamento. Os cálculos são efetuados basicamente através da solução das equações de balanço de calor nas superfícies do recinto, juntamente com a equação do balanço de calor para o ar interior.

Estas equações envolvem as trocas de calor que ocorrem por condução através dos elementos que compõem o recinto e por radiação e convecção nas suas superfícies, além da energia solar recebida pelas aberturas e das trocas de calor efetuadas pela ventilação do recinto. Pode-se constatar que trata-se da principal sub-rotina do programa NBSLD. Esta sub-rotina utiliza a sub-rotina auxiliar SOLVP.

SUB-ROTINA DBRH: calcula a taxa de umidade do ar exterior (massa de água por unidade de massa de ar seco) em função do valor da temperatura de bulbo úmido e da umidade relativa. Esta sub-rotina utiliza a função PVSF, que calcula a pressão de vapor do ar úmido saturado em função da temperatura de bulbo seco.

SUB-ROTINA PSY 2: esta sub-rotina, da mesma forma que a sub-rotina PSY 1, executa os cálculos referentes às propriedades psicrométricas do ar úmido. Esta difere da PSY 1, por ser dado o valor da temperatura do ponto de orvalho, ao invés da temperatura de bulbo úmido, obtendo-se, nesse caso, o valor da temperatura de bulbo úmido. As funções PVSF e WBF fazem parte desta sub-rotina, com as seguintes atribuições:

- Função PVSF: calcula a pressão de vapor do ar úmido saturado, em função da temperatura de bulbo seco.
- Função WBF: calcula a temperatura de bulbo úmido, em função da entalpia.

SUB-ROTINA TGSS: calcula as temperaturas superficiais de janelas ou portas de vidro, com ou sem elementos de proteção solar e quando a quantidade de energia recebida através desses elementos é maior que zero.

SUB-ROTINA FANGER: determina os valores horários do "Predicted Mean Vote", proposta por Fanger (07). Este índice de conforto térmico pode ser utilizado como parâmetro de cálculo das cargas térmicas de aquecimento e resfriamento do ambiente, em função da opção de processamento adotada. Esta sub-rotina utiliza a sub-rotina auxiliar PMVOTE.

SUB-ROTINA ADJUST: esta sub-rotina é utilizada somente no cálculo de cargas térmicas, como correção do calor latente, quando o método simplificado proposto pelo ASHRAE ("Weighting Factor Method") é utilizado.

3.2. OPÇÕES DE CÁLCULO OFERECIDAS PELO PROGRAMA

As modalidades de cálculo permitidas pelo programa são determinadas, basicamente, pelas seguintes opções de processamento:

1. Ambientes não condicionados artificialmente - neste caso, é possível calcular os valores da temperatura do ar exterior, quando os das superfícies interiores e exteriores de todos os elementos que compõem o recinto, juntamente com os valores do fluxo de calor nessas superfícies.
2. Valor fixado para a temperatura interna - neste caso, são calculadas as cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter o ar interior a essa temperatura.
3. Fixados um limite superior e um limite inferior para a temperatura do ar interior - nesse caso, são determinadas as cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias para manter a temperatura do ar interior dentro do intervalo pré-fixado.
4. Fixados, além dos limites superior e inferior da temperatura do ar interior, as cargas térmicas máximas de aquecimento ou de resfriamento do sistema de condicionamento artificial do recinto - nesse caso, os resultados dos cálculos efetuados pelo programa são os mesmos da opção 3, com a diferença de que, quando os valores das cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento necessárias ultrapassarem os limites pré-fixados, serão determinados, então, os valores apresentados pela temperatura do ar interior, mantendo-se os limites estabelecidos para as cargas térmicas.

Neste trabalho, utilizaremos nas simulações somente a primeira opção, obtendo-se os valores horários da temperatura do ar interior, para a avaliação do desempenho térmico do protótipo.

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

O programa ainda possui algoritmos que permitem soluções opcionais, tendo a vantagem de demandar um número bem menor de operações. Este é o caso do método simplificado proposto pela ASHRAE (American Society Of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), denominado "Weighting Factor Method" que converte as quantidades de calor ganhas ou perdidas pelo recinto em cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento. Neste método, são consideradas as resistências superficiais no cálculo do fluxo periódico de calor, que constitui a base para a determinação das diferenças da "temperatura equivalente", adotada para efeito de cálculo. A condução de calor de elementos compostos por várias camadas é tratada, de certa forma, empiricamente. A Temperatura Ar-Sol (temperatura fictícia) considera os efeitos térmicos devido à temperatura do ar e a radiação solar em elementos opacos e os coeficientes de sombra consideram a quantidade de radiação solar ganhas através das aberturas de diferentes tipos. Dias claros médios são utilizados para estimar a radiação solar. A carga de resfriamento instantânea, devido às cargas térmicas radiantes internas e a radiação solar transmitida, é obtida fazendo a média destas por um dado período de tempo, definido pelo peso da estrutura da edificação.

Esta opção de processamento não foi utilizada neste trabalho, porque só calcula cargas de resfriamento e/ou aquecimento e não a temperatura do ar interior.

Com relação aos dados climáticos, o programa permite três opções:

1. Os dados climáticos, horários, colhidos em postos meteorológicos são fornecidos através de uma fita, organizada de forma compatível com o programa;
2. Quando os dados climáticos referem-se ao "dia típico de projeto". Neste caso, os dados de entrada são: o valor máximo e o intervalo de variação da temperatura de bulbo seco e o valor máximo da temperatura de bulbo úmido do ar exterior do dia referido como "dia típico de projeto". Partindo desses valores, o programa gera os valores horários da temperatura do ar exterior e, a partir destes, os valores correspondentes da umidade relativa. Os dados referentes à radiação solar são de terminadas em função da posição geográfica, considerando-se a condição de céu limpo;
3. Quando são fornecidos os dados climáticos horários necessários ao processamento em questão, sem se utilizar a fita de dados climáticos.

A principal característica do programa está no método dos fatores de resposta térmica

para o cálculo da quantidade de calor transmitido por condução através dos elementos e componentes das edificações. No entanto, o programa permite a utilização de um outro método, bastante simplificado, que considera apenas as trocas de calor de uma das superfície com os demais, admitindo-se que estas encontram-se à mesma temperatura.

3.3. LIMITAÇÕES E SIMPLIFICAÇÕES DO PROGRAMA

De modo geral, qualquer que seja a opção de processamento, o programa apresenta as seguintes limitações e simplificações, segundo Akutsu (03):

1. O modelo em que se baseia o programa é essencialmente unicompartmental, não sendo consideradas as trocas mútuas de calor entre os diferentes recintos de uma edificação;
2. O modelo de cálculo, no que se refere às trocas de calor no espaço ático restringe-se às coberturas planas;
3. Não são considerados os efeitos de absorção da radiação solar na temperatura de vidros em aberturas;
4. Com relação ao piso em contato com o solo, são considerados apenas os fluxos na direção perpendicular ao piso, desprezando-se as componentes na direção do seu plano, que podem ser significativas nas bordas.
5. Não calcula a taxa de renovação do ar nos recintos, pois considera essa informação como dado de entrada;
6. Considera como isotérmica toda a extensão superficial de um elemento ou componente;
7. Considera uniforme a temperatura do ar interior;
8. Considera os fluxos de calor sempre perpendicular às superfícies;
9. Utiliza um grande número de memória (o que exige a utilização de computadores de grande porte);
10. Considera os elementos e componentes constituídos por camadas planas e de material homogêneo;
11. Para sua utilização em termos de Brasil, dada a escassez de dados termo-físicos dos materiais nacionais, temos que adotar parâmetros estrangeiros.

Torna-se importante ressaltar que o programa

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

ma NBSLD vem sendo continuamente analisado e modificado, sendo que a descrição feita neste trabalho corresponde ao estágio e processamento realizados até fevereiro de 1983.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES SIMULADAS ATRAVÉS DO PROGRAMA NBSLD

4.1. MÉTODO PROPOSTO PARA ANÁLISE DO PROBLEMA

Neste trabalho, o método de análise empregado é o de simulação teórica, baseado na variação horária da temperatura do ar interior em um protótipo residencial, situado no conjunto Habitacional "Cidade Satélite" do INOCOOP-RN, na região de Natal-RN, que se sabe, a priori, apresenta problemas de conforto térmico.

O método proposto (Figura 2) consiste, inicialmente, de caracterizar-se o ambiente térmico exterior (clima) e, para tal, são adotadas as condições de verão (consideradas críticas) e, mais especificamente, as condições médias do mês de fevereiro, com referência aos dados da Estação de Superfície do Ministério da Aeronáutica, localizada no CATRE (Centro de Aplicação Táticas e Recompensamentos de Equipagem no Aeroporto Augusto Severo), dos anos 1970 a 1979. O programa NBSLD permite efetuar os cálculos para um determinado dia, de três maneiras: com os dados horários desse dia apenas; com os dados horários desse dia e dos anteriores, fazendo uma sequência de até nove dias; ou com os valores máximo e mínimo da temperatura de bulbo seco e o valor máximo da temperatura de bulbo úmido do ar exterior desse dia. Dessa forma, em função dos dados climáticos da região de estudo disponíveis, adotou-se a 3ª modalidade, denominada "design load calculation", que é particularmente para realizar simulação aplicadas a um "dia típico de projeto". Além disso, vários outros dados necessários e os referentes à radiação solar são determinados em função de características locais, da época do ano e da posição geográfica.

Quanto à caracterização construtiva do protótipo, é feita baseada nas especificações fornecidas pelo INOCOOP-RN, e as grandezas que caracterizam as propriedades térmicas dos elementos e materiais foram estabelecidas em função dos valores recomendados pelo ASHAE (04) e pelo CSTB (06).

Da mesma forma, é feito um levantamento de todo o esquema de ocupação do protótipo quanto ao número de pessoas residentes, horários médios de permanência nos vários recintos, tempo que as janelas permanecem abertas, horários de utilização de iluminação artificial, enfim, todos os dados necessários à operação do programa NBSLD.

Para a operacionalização do programa, é utilizado o computador BORROUGHS-Sistema B-6900 do Centro de Computação Eletrônica (CCE) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Primeiramente, é feita a simulação para o cálculo da variação horária de temperatura do ar interior do protótipo nas condições padrão de implantação e o resultado é comparado com as exigências de conforto térmico. Como as exigências não são atendidas, procede-se modificações térmicas simuladas no protótipo, sob as mesmas condições climáticas e esquema de ocupação.

O encaminhamento para operacionalização do programa utilizado para a simulação com as modificações teóricas é o mesmo empregado para a simulação nas condições padrão. Os valores das temperaturas horárias internas com as modificações são comparados com os valores padrões e, baseados nesta análise e no atendimento das exigências higrotérmicas dos usuários, define-se alguns aspectos que necessitam especial atenção pelo projetista na concepção dos projetos habitacionais na região de estudo.

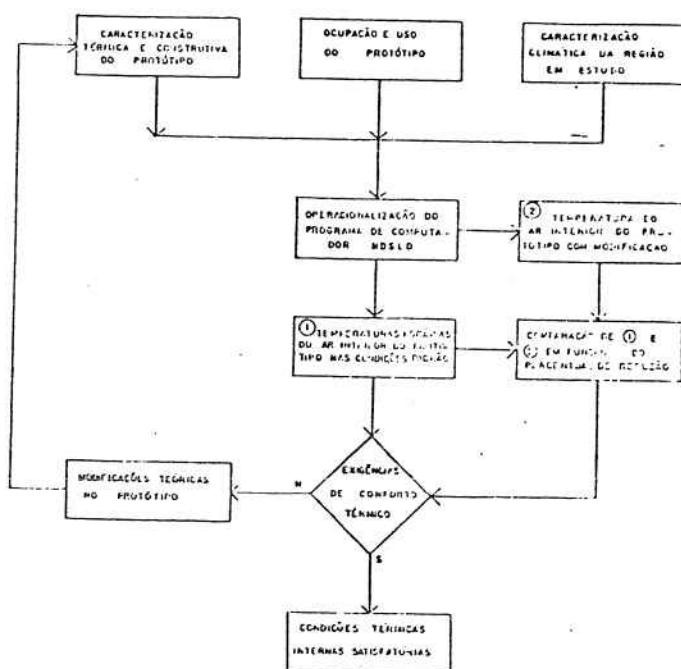


Figura 2 - Fluxograma do Método Proposto para Análise da Variação da Temperatura do Ar Interior do Protótipo.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROTÓTIPO

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

A unidade em estudo é térrea, unifamiliar, tipo B, do Conjunto Habitacional "Cidade Satélite" do INOCOOP-RN. Com uma área aproximada de 60m², possui 6 (seis) recintos assim distribuídos: sala, 3 (três) quartos, banheiro e cozinha.

Construtivamente, o protótipo é assim caracterizado:

Cobertura: laje de forro pré-moldada com inclinação de 20% e telhas de barro tipo "canal" sobre a mesma;

Alvenaria: de 1/2 tijolo cerâmico, rebocada de ambos os lados e pintada;

Piso : cimentado e revestido com carpete nos três quartos. Os demais recintos são revestidos com placas de vinil amianto tipo "Paviflex";

Aberturas: Janelas de ferro e vidro, tipo basculante, com exceção da janela da fachada principal que é de madeira, com algumas folhas fixas de vidro.

Quanto à sua situação, localiza-se em terreno 12 x 25m em meio de uma quadra, tendo como acesso rua pavimentada de 12m de largura

4.3. ESQUEMA DE OCUPAÇÃO E USO DO PROTÓTIPO

O protótipo é ocupado somente por um casal de jovens no período das 18 às 8 horas, permanecendo o dia totalmente fechado.

4.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO DE ESTUDO

A região de Natal-RN situa-se na latitude 5°45'54''S e longitude 35°12'05''W e caracteriza-se por clima quente e úmido. Com uma temperatura média anual de 26,2°C, variação anual de 2,9°C entre a temperatura máxima mensal (27,3°C em fevereiro) e a temperatura mínima média mensal (24,4°C em julho), e uma pequena variação diurna (variação média de 7,4°C no inverno e 6,2°C no verão), Natal constitui-se num bom exemplo da constância do nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste brasileiro.

Foi adotado o mês de fevereiro como representativo de uma situação típica de verão, com base nos dados climáticos disponíveis, por ser este o mês onde se registram as temperaturas máximas médias mais altas.

Os dados de entrada para o processamento do programa na modalidade "design load calculation" foram 30,3°C e 24,1°C, médias das temperaturas de bulbo seco máxima e mínima respectivamente, e 23,9°C, média da temperatura de bulbo úmido do mês de fevereiro, com referência aos dados da Estação de Superfície

do Ministério da Aeronáutica. Os dados referentes à radiação solar foram estimados em função da época do ano que, no estudo, foi considerado o dia 14 de fevereiro, além da posição geográfica (latitude e longitude) e fletividade do terreno e muitos outros fatores.

Na modalidade "design load calculation", o programa transforma a variação diária da temperatura numa senóide com período de 24 horas, constituindo-se assim em um dado de saída, que é a variável DBOUT ou temperatura de bulbo seco do ar exterior (9F).

4.5. CONDIÇÕES PADRÃO DO PROTÓTIPO

Na organização dos dados necessários à operação do programa, foram definidas as opções de processamento, esquematizada a ocupação e uso do protótipo, feita toda a caracterização termo luminosa do mesmo nas suas reais condições de implantação, bem como definidas as variáveis climáticas do projeto.

Os cálculos da temperatura do ar interior foram efetuados recinto por recinto do protótipo, e os resultados, assim simulados, encontram-se na tabela 1 e nos gráficos da figura 3 que representam as temperaturas padrão do ar interior dos vários recintos do protótipo em Graus Celsius.

4.6. EXIGÊNCIA DE CONFORTO TÉRMICO

Neste trabalho, considerando as características climáticas da região e os objetivos deste estudo, definiu-se as exigências de conforto térmico somente para a situação de verão. Optou-se pelos limites recomendados nos resultados parciais da pesquisa "Condições Ambientais e Fisiológicas para os Usuários das Edificações em Natal-RN" (02). O conjunto de variáveis que expressam as exigências de conforto térmico, pode ser definido pelas seguintes variáveis:

- temperatura de bulbo seco do ar interior;
- umidade relativa do ar interior;
- velocidade do ar no interior do ambiente;
- temperatura radiante média no centro geométrico do ambiente.

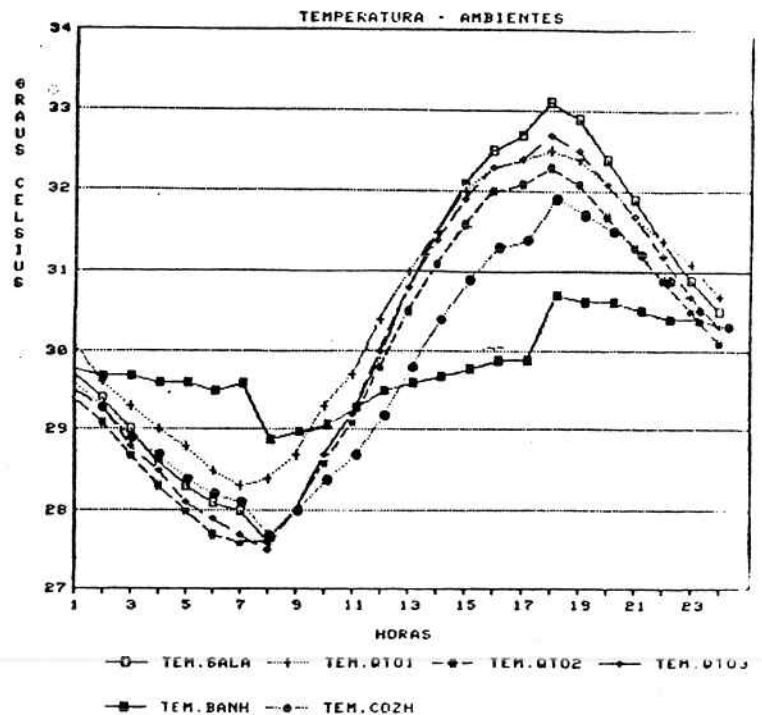
Os conjuntos de valores parciais atribuídos a todas essas variáveis ambientais, quando elas definem situações de conforto térmico para a região de estudo e para as situações particulares do referido experimento, já foram definidos. No entanto, para efeito de análise do presente trabalho, apenas os valores limitantes da variável temperatura do ar interior foram considerados. Essa limitação pode ser expressa por:

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

HORA	Temperatura Horária Padrão (°C)					
	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Banheiro	Cozinha
01	29.7	30.1	29.4	29.5	29.8	29.6
02	29.4	29.6	29.1	29.3	29.7	29.3
03	29.0	29.3	28.7	28.8	29.7	28.9
04	28.6	29.0	28.3	28.5	29.6	28.7
05	28.3	28.8	28.0	28.1	29.6	28.4
06	28.1	28.5	27.7	27.9	29.5	28.2
07	28.0	28.3	27.6	27.7	29.6	28.1
08	27.6	28.4	27.6	27.5	28.9	27.7
09	28.0	28.7	28.0	28.0	29.0	28.0
10	28.7	29.3	28.6	28.7	29.1	28.4
11	29.2	29.7	29.1	29.2	29.3	28.7
12	29.9	30.4	29.8	30.0	29.5	29.2
13	30.8	31.0	30.5	30.8	29.6	29.8
14	31.5	31.5	31.1	31.4	29.7	30.4
15	32.1	32.0	31.6	31.9	29.8	30.9
16	32.5	32.3	32.0	32.3	29.9	31.3
17	32.7	32.4	32.1	32.4	29.9	31.4
18	33.1	32.5	32.3	32.7	30.7	31.9
19	32.9	32.4	32.1	32.5	30.6	31.7
20	32.4	32.1	31.7	32.1	30.6	31.5
21	31.9	31.7	31.3	31.7	30.5	31.2
22	31.4	31.4	30.9	31.2	30.4	30.9
23	30.9	31.1	30.5	30.7	30.4	30.5
24	30.5	30.7	30.1	30.3	30.3	30.3

Tabela 1 - Temperatura do Ar Interior Padrão dos Vários Ambientes do Protótipo.

Figura 3 - Gráficos referentes ao Protótipo/médias das temperaturas horárias do ar interior dos vários recintos nas condições padrão.



APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

$$25.6^{\circ} \text{C} \leq t_i \leq 28.7^{\circ} \text{C}$$

onde: t_i = temperatura do ar interior ($^{\circ}\text{C}$)

4.7. DESCRIÇÃO DAS MODIFICAÇÕES SIMULADAS

Inicialmente, partiu-se para o estudo do comportamento do protótipo em relação a sua orientação.

Segundo algumas recomendações para o projeto em clima quente e úmido, do ponto de vista do ganho de calor, devido à radiação solar, as edificações devem estar orientadas, com seus eixos maiores, na direção leste-oeste. Portanto, fundamentados nesta hipótese, processou-se o programa, simulando a rotação correspondente no protótipo.

Modificação 01: Rotação do protótipo no sentido horário de 150° em relação a sua real implantação.

Os resultados assim obtidos, bem como os de todas as outras modificações simuladas neste trabalho, pode-se encontrar na tabela 2 e nos gráficos das figuras 3 e 4, que representam as médias das temperaturas horárias do ar interior dos vários recintos do protótipo com as respectivas modificações, em relação às médias das temperaturas horárias do ar interior dos mesmos nas condições padrão.

Constatou-se com esta primeira modificação que, em termos gerais, as condições ambientais internas não melhoram, pois determinados recintos foram favorecidos mas, em compensação, outros pioraram sensivelmente, já que as demais condições permanecem as mesmas. No entanto, outra modificação a nível da orientação do protótipo foi simulada, desta vez, orientando seu eixo maior na direção norte-sul.

Modificação 02: Rotação do protótipo no sentido horário de 60° , em relação a sua real implantação.

Os resultados obtidos com a modificação 02 foram relativamente ainda piores do que os da simulação anterior.

Neste contexto, partiu-se para redimensionar a cobertura, já que nos resultados das duas primeiras modificações constatou-se o grande calor através deste componente, principalmente, considerando-se a latitude de região em estudo ($5^{\circ} 45' 54''\text{S}$), muito próxima do equador, onde a superfície horizontal recebe a máxima intensidade solar.

HORA	Média Horária da Temperatura do Ar Interior ($^{\circ}\text{C}$)										
	MODF 01	MODF 02	MODF 03	MODF 04	MODF 05	MODF 06	MODF 07	MODF 08	MODF 09	MODF 10	MODF 11
01	29.7	29.8	28.9	28.8	28.5	28.2	27.3	27.2	26.9	27.4	26.5
02	29.5	29.5	28.8	28.7	28.3	27.9	27.1	27.0	26.7	27.2	26.3
03	29.1	29.2	28.6	28.4	28.1	27.6	26.8	26.8	26.5	26.9	26.1
04	28.8	28.8	28.4	28.2	28.0	27.4	26.6	26.6	26.4	26.7	25.9
05	28.6	28.7	28.3	28.1	27.8	27.2	26.5	26.5	26.3	26.5	25.8
06	28.4	28.4	28.2	28.0	27.7	27.1	26.4	26.4	26.3	26.4	25.8
07	28.2	28.3	28.1	28.0	27.7	27.3	26.4	26.5	26.4	26.4	25.9
08	28.0	28.0	27.6	27.5	27.3	28.3	26.1	26.2	26.0	26.2	25.8
09	28.3	28.3	27.9	27.7	27.6	28.5	26.5	26.5	26.4	26.6	26.1
10	28.9	29.2	28.2	28.0	28.0	29.5	27.1	27.0	26.8	27.1	26.6
11	29.1	29.2	28.7	28.5	28.4	30.7	27.7	27.5	27.4	27.6	27.1
12	29.7	29.8	29.1	29.0	28.9	31.7	28.4	28.2	28.0	28.4	27.6
13	30.3	30.4	29.6	29.5	29.4	32.5	29.0	28.7	28.4	29.0	28.1
14	30.9	30.9	30.1	29.8	29.7	33.0	29.5	29.1	28.8	29.5	28.4
15	31.4	31.4	30.4	30.2	30.0	33.1	29.8	29.3	29.0	29.8	28.7
16	31.7	31.8	30.6	30.3	30.1	32.8	29.9	29.4	29.0	29.9	28.7
17	31.9	31.9	30.6	30.4	30.1	32.3	29.9	29.3	28.9	29.9	28.7
18	32.3	32.4	31.2	30.9	30.6	32.0	30.2	29.7	29.3	30.2	28.9
19	32.2	32.2	31.0	30.7	30.4	30.8	29.7	29.3	28.9	29.8	28.5
20	31.8	31.8	30.7	30.4	30.1	30.3	29.3	28.9	28.5	29.4	28.2
21	31.5	31.5	30.4	30.2	29.8	29.9	28.9	28.5	28.2	28.9	27.6
22	31.1	31.1	30.2	29.9	29.5	29.4	28.4	28.2	27.8	28.5	27.5
23	30.8	30.8	29.9	29.6	29.3	29.1	28.1	28.0	27.6	28.1	27.2
24	30.4	30.4	29.6	29.4	29.1	28.7	27.8	27.6	27.3	27.9	26.9

Tabela 2 - Médias Horárias das Temperaturas do Ar Interior dos vários recintos com as respectivas modificações.

Modificação 03: cobertura com uma camada de ar ventilada entre a telha de barro e a laje.

Realmente, a camada de ar ventilada entre a telha de barro e a laje diminui o ganho de calor pela cobertura, principalmente nos horários de grandes intensidades da radiação solar, melhorando um pouco as condições internas gerais do protótipo, como podemos ver através dos gráficos da Figura 4.

Em seguida, foi mantido o mesmo sistema de cobertura da modificação anterior, substituindo apenas a telha de barro pela de cimento-amianto.

Modificação 04: Cobertura com telha de cimento-amianto com uma camada de ar ventilada entre a referida telha e a laje.

Com os resultados desta modificação, constatou-se a importância do coeficiente de absorção da superfície da cobertura, pois no cálculo do coeficiente global de transmissão térmica (U), através do método dos fatores de respostas, o valor deste resultou muito próximo do calculado no sistema da mo

dificação anterior (telha de barro), levando-se a concluir que as melhorias das condições internas do protótipo, em relação à modificação anterior, deve-se a cor clara da telha considerada. (Figura 4). Retornando ao sistema da camada de ar ventilada entre a telha de barro e a laje, introduziu-se, então, um isolante sobre a laje.

Modificação 05: Cobertura com camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de barro.

Apesar da melhoria das condições internas do protótipo com esta modificação simulada (Figura 4), em relação às condições padrão comprovou-se, realmente, o ganho excessivo a través da cobertura na latitude de estudo. Neste contexto, partiu-se então para outro sistema de cobertura, distinto do utilizado no protótipo, caracterizado por baixa inércia térmica.

Modificação 06: Cobertura leve constituída de forro de madeira leve e telhado de barro.

Com os resultados desta modificação simulada (Figura 4), constatou-se que, em função da baixa inércia térmica do sistema de cobertura considerada, as condições internas em termos gerais melhoraram nos primeiros horários do dia, mas pioraram consideravelmente nos demais, principalmente, nos correspondentes às grandes intensidades da radiação solar. Dessa forma, obteve-se até esta modificação simulada, uma idéia do comportamento dos vários sistemas de cobertura, bem como da orientação do protótipo, em relação às condições padrão consideradas. Partiu-se então, para abordar a questão da ventilação

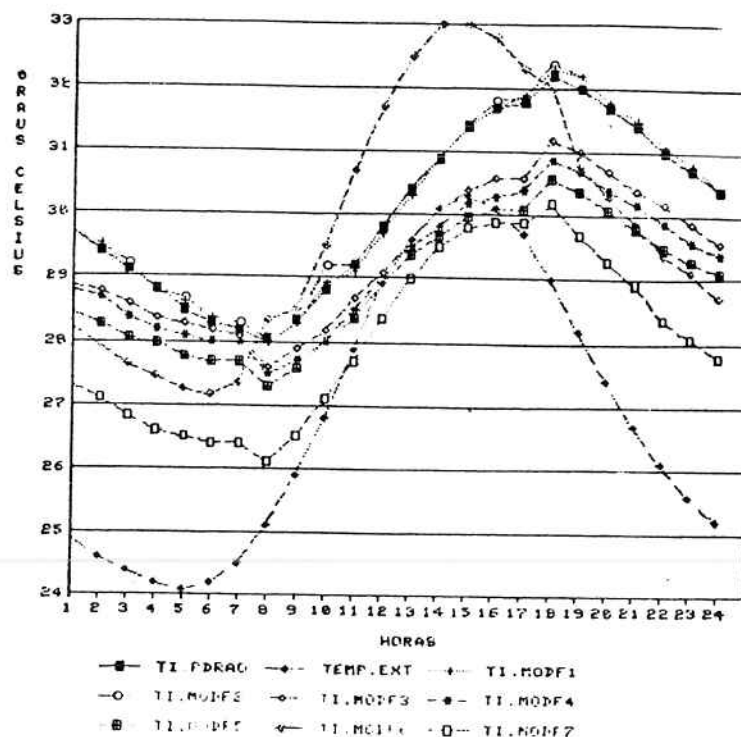
Modificação 07: Consideradas todas as janelas completamente abertas com ventilação intensa.

Nesta modificação simulada, foram mantidas todas as condições padrão do protótipo, sendo apenas consideradas os vãos das aberturas complementares livres, permitindo 6 renovações de ar por hora, em todos os recintos, durante as 24 horas do dia. Os resultados desta modificação simulada, dentre todos os já processados até então, foram os mais significativos, em termos de melhoria das condições internas do protótipo em relação às suas condições padrão, como pode-se constatar nos gráficos da Figura 4. Consequentemente, há necessidade de renovação frequente do ar (ventilação) em todos os ambientes das edificações na região de estudo. Ainda nesta fase de simulações simples, foi proposta uma modificação com relação ao piso do protótipo, a fim de torná-lo elevado com ventilação sob o mesmo. No entanto, por problemas operacionais do programa, não foi possível processá-lo. Comprovada a necessidade da rebovação frequente do ar nos recintos, torna-se também, necessária a cobertura ventilada. Neste contexto, foi simulada a modificação seguinte.

Modificação 08: Cobertura com uma camada de ar ventilada, além das janelas completamente abertas com ventilação intensa.

A partir desta simulação, considerou-se modificações compostas e, no caso, trata-se de uma junção da modificação 7 (anterior), com a modificação 3, tendo como objetivo detectar se elas somam-se no sentido da melhoria das condições internas do protótipo, ou se uma interfere na outra.

Figura 4 - Gráficos referentes ao Protótipo/ Médias das Temperaturas Horárias do Ar Interior dos vários recintos com as respectivas modificações simuladas.



APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

Os resultados obtidos com esta simulação composta foram bem melhores que os da modificação simples anterior, mas que, na realidade, não se somaram integralmente. Os gráficos representativos destas modificações simuladas compostas encontram-se na figura 5. O procedimento seguinte foi a junção da modificação simulada 05 com a 07, ou seja, a cobertura com uma camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de barro, além das janelas completamente abertas com ventilação intensa.

Modificação 09: Cobertura com camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de barro, além das janelas completamente abertas com ventilação intensa.

Os resultados assim obtidos, em relação às condições ambientais interiores do protótipo, foram, como era de se esperar, melhores que os anteriores (Figura 5). Dando prosseguimento aos processamentos das modificações simuladas compostas, retornou-se à questão da orientação do protótipo, agora, juntamente com ventilação.

Modificação 10: Orientação adequada em relação aos ventos predominantes, além das janelas completamente abertas com ventilação proporcional.

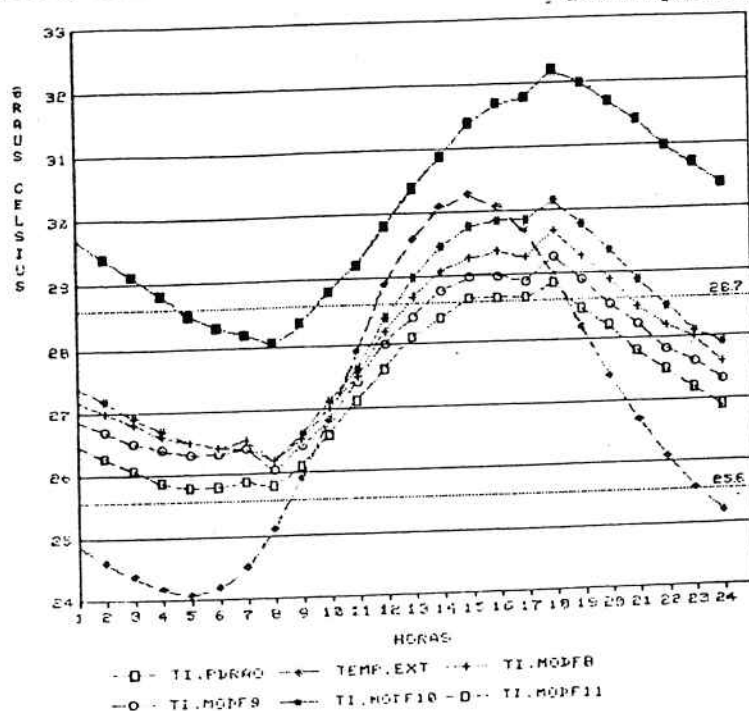
Com base nos dados de vento da região de estudo, constatou-se a direção predominante de 120 SE, durante 8 (oito) meses do ano, inclusive (mes de fevereiro), bem como uma velocidade do vento média de 5 m/s, adotada como "vento de projeto". Processou-se uma simulação de rotação do protótipo, a fim das aberturas de entrada de ar situarem-se perpendicular à direção dos ventos predominantes. Dessa forma, foram estimados os nú-

meros de renovação de ar, por hora, em cada recinto, que se constituem dados de entrada do programa. Pode-se constatar, com base nos resultados destes processamentos (Figura 5), que as condições internas ficaram um pouco aquém das simuladas na modificação 7, onde foram consideradas 6 renovações por hora, por recinto, independente da orientação das aberturas de entrada de ar em relação à direção e velocidade dos ventos predominantes para a região de estudo. Finalmente, foi definida a modificação composta, que leva em conta todos os fatores que contribuíram para a melhoria das condições internas do protótipo, através da redução da temperatura do ar interior, durante esta fase de simulações

Modificação 11: Orientação adequada com ventilação intensa, considerando todas as janelas abertas além da cobertura leve com uma camada de ar ventilada e um isolante entre a laje e a telha de cor clara.

Nesta fase de simulação, os resultados obtidos foram os melhores possíveis, como se pode constatar nos gráficos da Figura 5. Analisando as curvas representativas da modificação simulada 11, na Figura 5, constata-se que exigência da temperatura do ar interior foi praticamente atendida. No entanto, sugere uma abordagem quanto ao ganho de calor nos horários de maior intensidade de radiação solar, através dos componentes do protótipo que será trabalhada em fase posterior a este trabalho.

Figura 5 - Gráficos referentes ao Protótipo Médias das Temperaturas horárias do Ar Interior dos vários recintos com as modificações simuladas compostas.



4.8. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Pela descrição das modificações simuladas, pode-se observar que se tratou de uma abordagem do problema a nível qualitativo, mas que se necessitou dar uma forma numérica para interpretá-la. A análise foi feita em função do percentual médio de redução da temperatura do ar interior dos vários ambientes do protótipo com as respectivas modificações simuladas.

O quadro da Figura 6 representa a descrição das modificações simuladas no protótipo com os respectivos percentuais de redução das temperaturas do ar interior dos mesmos, nas condições consideradas padrão, como também o percentual médio dos vários recintos, simplificando, assim, a análise. A interpretação através do percentual médio de redução da temperatura do ar interior, para cada modificação simulada, permite identificar a nível numérico, o que já foi constatado na descrição anterior das mesmas.

4.9. TESTE REALIZADO COM O PROGRAMA NBSLD

Para efeito de comparação entre os valores calculados pelo programa de computador NBSLD e os respectivos valores medidos, foi realizado um teste para o cálculo dos valores horários da temperatura do ar interior do Escritório da Estação Climática do Campus Universitário, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Por outro lado, é importante observar que o ideal teria sido realizar este teste com o protótipo, mas que por motivo de falta de instrumentos adequados para tal, foi realizado com o Escritório da Estação Climática do Campus Universitário, por já contar com registradores de temperatura do ar (termôgrafos) no abrigo meteorológico (exterior) e no Escritório (interior).

O Escritório da Estação Climática é assim caracterizado construtivamente:

Cobertura: telha de cimento-amianto, sem forro, com inclinação de 10%;
Alvenaria: telha 1/2 tijolo cerâmico, reboca da de ambos os lados e pintada;
Piso : de lajota cerâmica;
Aberturas: caixilho de madeira com vidro pivotante.

Para testar o programa observou-se o comportamento da Temperatura de bulbo seco de ar exterior durante uma sequência de seis dias (13 a 18/02/83) e escolheu-se o dia 17 por apresentar valores horários mais próximos dos adotados para as simulações anteriores. Com todos os dados necessários à operacionalização do programa, este foi processado, considerando os 3 (três) ambientes da edificação, ou seja, o escritório propriamente dito, o banheiro e o depósito, mas que para efeito de análise, considerou-se apenas os resultados do primeiro, onde foram registrados os dados da temperatura de bulbo seco do ar interior, para a mesma sequência de dias já referida. Os gráficos da figura 7 ilustram a variação horária das temperaturas de bulbo seco do ar interior e simuladas. Considerando que as curvas de temperatura do ar, em função do tempo, representam uma onda, a comparação entre os valores medidos e os simulados para o Escritório apresentam discordância na fase e uma diferença máxima de 1,5°C nas amplitudes, sendo menor a amplitude da onda referente aos valores medidos.

MODIFICAÇÃO	% de redução da temperatura do ar interior						média de redução
	Salão	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Banheiro	Cozinha	
01-Potência do Protótipo de 1500 no sentido horário	0.52	0.62	-0.53	-0.10	-0.32	-0.65	-0.08
02-Potência do Protótipo de 600 no sentido horário	0.35	-0.30	0.28	0.24	-0.74	-1.00	-0.20
03-Camada de ar ventilada entre a telha de barro e a laje	2.93	3.66	1.15	2.49	1.36	2.02	2.27
04-Camada de ar ventilada entre a telha de cimento-amianto e a laje	3.64	4.79	1.95	3.23	1.35	2.75	2.95
05-Camada de ar ventilada e um isolante entre a telha de barro e a laje	4.10	5.66	2.47	3.66	1.35	3.39	3.44
06-Cobertura leve constituída de forro de madeira leve e telhado de barro	1.56	1.95	-0.13	1.04	1.35	0.08	0.98
07-Consideradas todas as janelas abertas com ventilação intensa	7.44	8.43	5.70	6.61	6.52	5.47	6.70
08-Cobertura com uma camada de ar ventilada além das janelas completamente abertas com ventilação intensa	8.24	9.65	6.45	7.30	6.52	6.21	7.40
09-Cobertura de uma camada de ar ventilada e um isol. entre a laje e a telha de barro, além das janelas completamente abertas com ventilação intensa	9.15	10.98	7.42	8.24	6.52	7.18	8.25
10-Orientação adequada com relação aos ventos predominantes além das janelas completamente abertas com ventilação proporcional	8	9.54	6.93	6.51	5.71	4.06	6.59
11-Orientação adequada com relação aos ventos predominantes além das janelas completamente abertas com ventilação proporcional e uma camada de ar ventilada entre a laje e a telha de barro			9.71	8.97	5.72	7.15	8.94

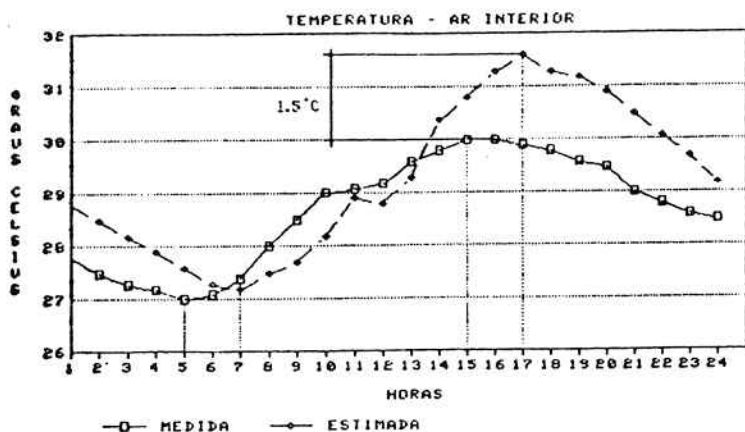


Figura 7 - Gráficos referentes ao Escritório da Estação Climática/Temperaturas do Ar Interior medidas e calculadas.

Dada as diferenças observadas entre os valores medidos e simulados, uma das hipóteses levantadas, quanto à discordância na fase, foi, inicialmente, que observou-se uma defasagem entre os horários que ocorrem os valores máximos e mínimos da temperatura do ar exterior medidos e estimados, além desta modalidade utilizada do programa "design load calculation" transformar a variação horária da temperatura do ar exterior numa senoide perfeita, o que não ocorre normalmente na região de estudo.

Quanto à diferença nas amplitudes, se justifica pelas simplificações introduzidas no modelo físico, ao se estabelecer os dados de entrada do programa, dadas as incertezas nos valores correspondentes às características termo-físicas dos elementos e materiais adotados de bibliografia estrangeira.

De modo geral, pode-se concluir que, apesar destas diferenças, os resultados das modificações simuladas analisadas anteriormente, a nível qualitativo, são perfeitamente adequados aos objetivos do presente trabalho.

5. CONCLUSÕES

Ao iniciar o presente estudo, tinha-se noção da complexidade que envolve o problema principalmente, no que se refere ao como levar o clima em consideração no projeto. Neste sentido, a metodologia, ora adotada, foi produto de muitas discussões e hipóteses e, com certeza, constitui-se num instrumento importantíssimo para ser utiliza-

do pelo projetista, ainda na fase de anteprojeto, onde o desempenho térmico da futura edificação pode ser simulado e reformulado a nível do desenho, caso não atenda às exigências definidas, a priori.

Nesse sentido, pode-se dizer que o programa de computador NBSLD, trata-se de um instrumento de cálculo que responde, de forma satisfatória, às necessidades mais comuns. Embora o modelo em que se baseia o programa compreenda algumas restrições, a sua aplicabilidade é extensível a vários tipos de edificações com diferentes sistemas construtivos. Nesse contexto, deve-se lembrar que a precisão e a exatidão obtidas para os valores calculados, não dependem, unicamente, da precisão com que são realizados os cálculos numéricos mas, em grande parte, dos dados de entrada, tanto os referentes ao clima, quanto às propriedades termo-físicas das edificações.

Apesar do presente trabalho se restringir ao estudo de um protótipo, a nível de sua orientação, redimensionamento de alguns componentes e substituição de materiais, devia-se limitar a abordagem somente em função do seu desempenho térmico, em particular. No entanto, os resultados comprovaram as hipóteses gerais levantadas na bibliografia específica, a nível qualitativo, para as construções habitacionais na região de estudo.

Através das modificações simuladas, constatou-se a necessidade de se dedicar especial atenção à ventilação e à cobertura, quando da concepção dos projetos com referências aos seguintes aspectos:

VENTILAÇÃO: pode-se melhorar o desempenho térmico das construções habitacionais térreas unifamiliares, a partir da orientação adequada das mesmas, em relação aos ventos predominantes locais. Para tal, torna-se necessário conhecer a direção e a intensidade destes ventos, além da densidade de ocupação do solo, pois quanto maior a densidade, menor a velocidade do ar ao nível do solo. As edificações devem permitir, em seu interior, a livre circulação do ar e para isso deve-se projetar criteriosamente ambientes com partições internas, a fim de não prejudicar a ventilação cruzada nos mesmos. Quanto às aberturas, estas devem ser amplas e permitir permanentemente a livre circulação do ar.

COBERTURA: Em função da latitude da região de estudo (50° 45' 54" S), verificou-se ser a cobertura o componente responsável pelo grande ganho de calor das edificações. Portanto, fundamentados também nos resultados das simulações, apresenta-se alguns aspectos a nível deste componente. Estes referem-se a coberturas leves, isolantes e refletoras, além do uso de colchão de ar entre o forro leve, permitindo ventilação cruzada

APLICAÇÃO DE MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES
VIRGÍNIA MARIA DANTAS DE ARAÚJO

também neste espaço. Pode-se observar que estes aspectos, ora abordados, referem-se a uma etapa e que muitas outras restaram a cumprir. Neste contexto, ficaram evidentes que alguns fundamentos deveriam ser analisados em maior profundidade, originando algumas pesquisas, que encontram-se em fase de conclusão e em andamento, como é o caso da intitulada "Condições Típicas de Temperatura, Umidade Relativa, Ventos e Nível de Aclaramento para o Projeto de Edificações em Natal-RN", desenvolvida com o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRN e a pesquisa "Condições Ambientais e Fisiológicas para o Usuário das Edificações Escolares em Natal-RN", financiada pelo CNPq. Neste trabalho, não foi possível ir além das simulações desenvolvidas no protótipo, por falta de equipamentos adequados às medições do mesmo. Dessa forma, não foi realizada a sua parte prática, ou seja, o registro sistemático das temperaturas do ar interior e exterior, para poder se comparar com os resultados simulados. Neste sentido, encontra-se em fase de projeto e já aprovado pelo programa "Nova Universidade" do MEC o projeto "Equipamentos Mínimos para o Laboratório de Conforto Ambiental" para o Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN. Voltando ao programa NBSLD, o domínio completo quanto à sua aplicabilidade à região de estudo, só será possível com a realização de variados testes, acompanhados de verificação experimental. Dessa forma, julga-se haver cumprido esta etapa, básica para se definir as que restam a cumprir.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (01) ALLUCCI, Márcia P. Recomendações para adequação ao clima no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, março, 1981.
- (02) ARAÚJO, Virgínia M.D. et alii. Condições Ambientais e Fisiológicas para os usuários das edificações em Natal-RN. Relatório Parcial, CNPq - Processo 40.43.03/84-SA, março 1986.
- (03) AKUTSU, Maria. Aplicação do método dos fatores de resposta para a determinação da resposta térmica de Edificações. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.
- (04) AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of fundamentals. New York, ASHRAE, 1977.
- (05) AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. New York, ASHRAE, 1981.
- (06) CENTER SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (CSTB). Regles de calcul des caracteristiques thermiques utiles des parois de la construction. Cahier 1478, novembre, 1977.
- (07) FANGER, P.O. Thermal comfort. Analysis and applications engineering. Mc Graw-Hill Book Company, United States, 1972.
- (08) GRANADO JR, Milton V. Considerações sobre o desempenho térmico de edifícios na região de Natal (RN) - Estudo de caso Edifício em Conjunto Habitacional. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1982.
- (09) GUPTA, C.L. et alii. A conceptual survey of computer-oriented thermal calculation methods. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Austrália, s/d.
- (10) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A (IPT): Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. Volume 4, Conforto Higrotérmico, IPT, Rel. nº 16.277, São Paulo, 1981.
- (11) KUSUDA, Tamami. Thermal response factors for multi-layer structures of various heat conduction systems. ASHRAE transactions 75, pp. 246-270, New York, 1969.
- (12) KUSUDA, Tamami. NBSLD, the computed program for heating and cooling loads in buildings. Washington D.C., U.S. Department of Commerce, Elliot L. Richardson, Secretary, 1976.
- (13) LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. O problema da transmissão Térmica em elementos de construção. Ministério de Obras Públicas, Lisboa, 1966.
- (14) STEPHENSON, D.G. and MITALAS, G.P. Cooling load calculation by thermal response factor method. ASHRAE transactions 73. Part 1, New York, 1967.
- (15) SOUZA, Roberto de. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. A construção São Paulo 1841, pp.21-24, São Paulo, maio 1983.