

DETERMINAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES EFICIENTES: SOBRE OS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DISPONÍVEIS PARA ARQUITETOS

Alicia Vieira Rodriguez Romero¹ –romero.alicia@gmail.com

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Arquitetura

Oscar Daniel Corbella², Ph. D. – ocorbella@terra.com.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Programa de Pós-graduação em Urbanismo

Viviane Nayala Corner, M. Sc. – viviane_corner@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

6.2 Análise Térmica de Edificações

Resumo. A preocupação com o conforto ambiental do ambiente construído reflete no consumo energético, estando ligada à política nacional de conservação e uso racional de energia. Desde meados do século passado, foram realizadas pesquisas em países do primeiro mundo - EUA e UE, países do hemisfério Norte de clima frio - procurando a diminuição do consumo de energia, especialmente a partir da crise energética de 1973. Também, em nosso país grupos de pesquisa dedicaram seus esforços à procura de novas fontes de energia e eficiência no consumo-, visto o impacto causado no Brasil - e numerosas medidas foram tomadas a partir dessas pesquisas, mas é de lamentar a falta de posterior continuidade, quando a crise passou de seu ponto crítico. As construções consomem uma quantidade considerável de energia para oferecer conforto aos usuários, sendo o arquiteto o responsável por projetá-las. As pesquisas desenvolvidas na FAU/UFRJ com ferramentas computacionais buscam melhorar a qualidade do projeto arquitetônico na sua integração com o clima local, visando aumentar o conforto e diminuir a potência instalada e o consumo de energia elétrica. Os softwares de simulação do comportamento térmico e lumínico da construção, quando utilizados na fase inicial do projeto arquitetônico, permitem prever seu desempenho energético, gerando como consequência uma economia tanto para o homem quanto para a sociedade, e benefícios para a conservação do meio ambiente. Porém, não existem ferramentas que sejam amigáveis para os arquitetos neste trabalho busca-se contribuir para o desenvolvimento do tema, identificando as partes do problema e buscando soluções.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Simulação de Conforto. Arquitetura Bioclimática

1 INTRODUÇÃO

Cabe ao arquiteto, responsável pela concepção do projeto de arquitetura, a responsabilidade pelo conforto do usuário no ambiente, seja ele para trabalho, descanso ou lazer. Compete a este profissional a especificação dos materiais construtivos, além da estética da edificação. No Brasil, se incorporam técnicas e equipamentos construtivos antiquados e inadequados, projetados para modelos arquitetônicos do hemisfério Norte, zonas extratropicais, cujas condições climáticas são bem diversas das que aqui se encontram.

¹ Bolsista do CENPES/UFRJ (Financiamento PETROBRAS), para desenvolvimento de pesquisas para o Mestrado no PROARQ/UFRJ.

² Pesquisador do CNPq.

Uma revisão das obras arquitetônicas executadas atualmente mostra-nos que não se observa o clima na qual estão inseridas, pois a simples cópia de um modelo importado de arquitetura ignora o meio ambiente local. Isso produz um impacto indesejável nas construções; a energia solar transforma-se em abundante energia térmica, absorvida pela pele do edifício e resulta indispensável a utilização de equipamentos de ar condicionado para conseguir o conforto térmico no seu interior. Esta ausência de integração arquitetura-clima no projeto, praticada pela maioria dos arquitetos, só se justifica pela falta de conhecimento de técnicas e procedimentos de cálculos fáceis de aplicar para resolver o problema.

Historicamente, o princípio de adaptar a construção ao clima existe desde o tratado *De Architectura* de Vitruvius (ver, por exemplo, OLGYAY, 1963, p. 4). Torna-se necessário retomar esta prática e pesquisar técnicas e ferramentas que auxiliem o arquiteto, desde os primeiros esboços do projeto, no desenvolvimento de um projeto que se adapte à região climática no qual estará inserido. Essa abordagem não pretende abrir mão do uso dos recursos tecnológicos para a promover o conforto, como os equipamentos de climatização e iluminação artificial, mas utilizar a energia elétrica de forma eficiente, diminuindo seu consumo e, conseqüentemente, preservando os recursos ambientais. No entanto, a maioria dos arquitetos não deseja envolver-se em cálculos complicados (a serem efetuados pelos engenheiros no tema); assim, os softwares podem auxiliá-los na elaboração de um projeto arquitetônico com consciência do meio ambiente.

A maioria dos softwares aplicados nos cursos de arquitetura – nos níveis de graduação e pós-graduação – apresenta dificuldades de utilização que resultam em seu abandono prematuro. Por um lado, muitos deles contam com banco de dados climáticos que não correspondem aos climas das regiões tropicais e não apresentam possibilidades de introduzir modificações (por exemplo: o CODIBA francês); em outros casos, apresentam banco de dados fixo que não corresponde aos materiais encontrados na região (por exemplo: o ENERGY PLUS dos EUA); os que permitem modificações têm entradas de dados complicadas ou tediosas (idem anterior); há softwares em que a saída de dados é numérica e complicada ou não se preocupam em demonstrar os resultados na linguagem dos arquitetos (ou seja, de forma gráfica, por exemplo: o DOE dos EUA).

Estes problemas, além de outros, levaram-nos a pesquisar ferramentas computacionais adequadas ao processo de criação do arquiteto, que atendessem a quatro requisitos: 1) fossem cedidas gratuitamente ao campo acadêmico; 2) pudessem suportar adaptações das características climáticas e regionais; 3) mostrassem seus resultados em linguagem facilmente compreensível ao arquiteto; e 4) permitissem saber se a adequação do projeto propiciaria um ambiente com consumo eficiente de energia elétrica.

2 A QUESTÃO ENERGÉTICA

A maioria dos projetistas de arquitetura parece desconhecer a relação entre o consumo da energia elétrica por parte do edifício (o ambiente por ele projetado) e o clima, ignorando que grande parte deste consumo provém da necessidade de se climatizar e iluminar artificialmente o ambiente construído, para adaptá-lo ao clima local. São os engenheiros elétricos que aplicam essas soluções e os arquitetos não têm idéia dos problemas causados pelo excessivo consumo de energia elétrica. Dentre eles, destaca-se o processo de geração da energia convencional que é extremamente agressivo e aponta para um futuro bastante comprometedor para o meio ambiente. A matriz mais representativa para geração de energia elétrica no Brasil é de origem hidráulica, como pode ser visto na figura 1. Sua produção causa, por exemplo, inundação de terras, muitas delas agriculturáveis, modificando os ecossistemas.

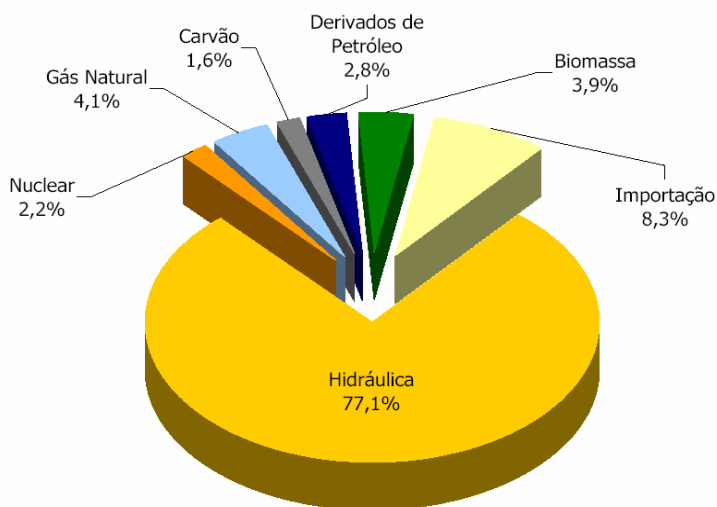


Figura 1: Balanço Energético Nacional de 2005 demonstrando que as hidroelétricas fornecem mais de 70% da energia elétrica instalada no Brasil (MME, 2006).

2.1 Diretrizes para uma Arquitetura Bioclimática em busca da Eficiência Energética e do Conforto Ambiental.

O conforto ambiental pode ser classificado como um conjunto de variáveis que proporciona ao homem um estado no qual seu metabolismo consome o mínimo de energia para se adaptar ao ambiente. Essas sensações são bastante subjetivas e dependem de cada pessoa, de sua cultura, sua experiência, sua constituição física, ou seja, das particularidades de cada um, em cada local e clima. Diversos estudos foram efetuados buscando traçar valores médios para o conforto térmico e lumínico do ser humano. Por exemplo, Fanger (1972) fez um estudo estabelecendo o voto médio predito (PMV - Figura 2) de conforto térmico, que traduz a sensibilidade humana ao frio, que corresponde ao valor negativo e ao calor que corresponde ao valor positivo do PMV. Essas análises devem ser incorporadas na construção de uma ferramenta que auxilie o projeto de arquitetura bioclimática.

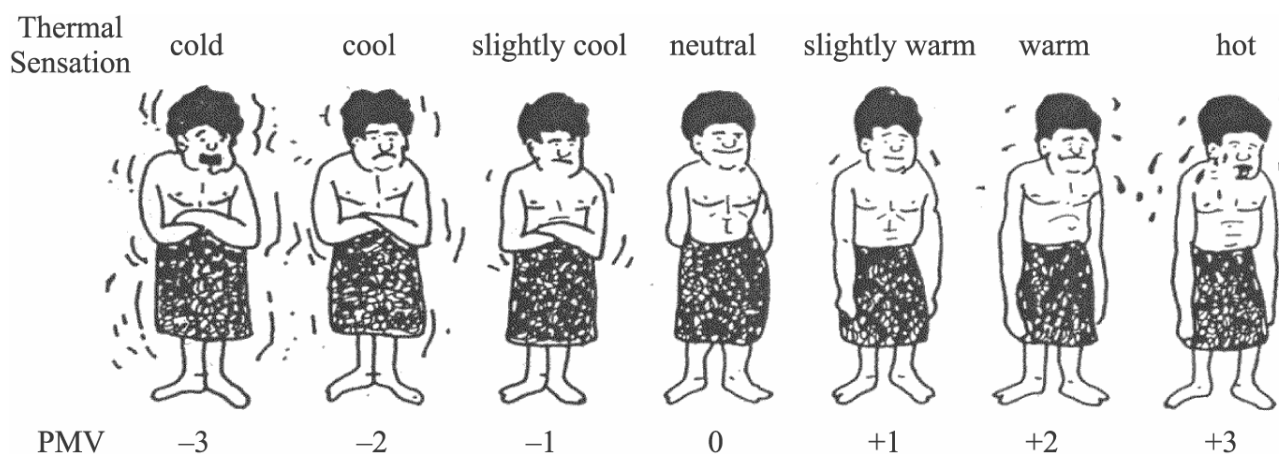


Figura 2: Valores de PMV, traduzindo a sensibilidade ao frio e ao calor (Tse et al, 2005).

A observação e análise do clima local auxiliam na previsão do consumo de energia elétrica que será necessário para o controle térmico e a obtenção de conforto. Determinar quanto uma edificação consome para se adaptar ao clima local e propiciar conforto para seus ocupantes, é uma das metas dos softwares de análise do conforto nas edificações.

2.2 Simulações com Softwares: avaliação dos programas disponíveis.

Os arquitetos já têm inserido em seu cotidiano a utilização de diversas ferramentas computacionais para desenho e simulação dos acabamentos interiores. A operação amigável do software pelo arquiteto exige que haja uma integração com as ferramentas já consolidadas para o projeto como o AutoCad, o ArchiCad, entre outras. Porém, para o profissional que não está envolvido na área de pesquisa, ainda é difícil identificar o que está disponível no mercado.

São diversos os softwares de simulação do consumo energético relacionado ao comportamento térmico do projeto de arquitetura, disponíveis. Sua utilização torna possível auxiliar o projeto de edificações adequadamente inseridas no meio ambiente local. Pode-se observar na figura 3 a fase de inserção do software de simulação no método projetual do arquiteto.



Figura 3: Esboço da fase de inserção da Simulação no desenvolvimento do projeto arquitetônico para verificação do conforto.

Entre estas ferramentas podem-se citar algumas que já vêm sendo utilizadas em pesquisas e na prática didática da FAU/UFRJ, são elas: o Energy Plus (1996-2005), utilizado como ferramenta para previsão do consumo elétrico, dentre outras aplicações, pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos; o CASAMO-CLIM (1988), utilizado ainda atualmente pelo governo da França para previsão de conforto e consumo de eletricidade. Ambos os programas estão disponíveis gratuitamente para uso no país. Embora o CASAMO-CLIM tenha a desvantagem de ser em língua francesa e usar ainda a tela em DOS (figura 4), inviabilizando um uso freqüente do mesmo, ele tem muitos recursos, como o desenho de máscaras das trajetórias solares (figura 5), além da possibilidade de inserir dados climáticos e planilhas de materiais em concordância com as características da região estudada.

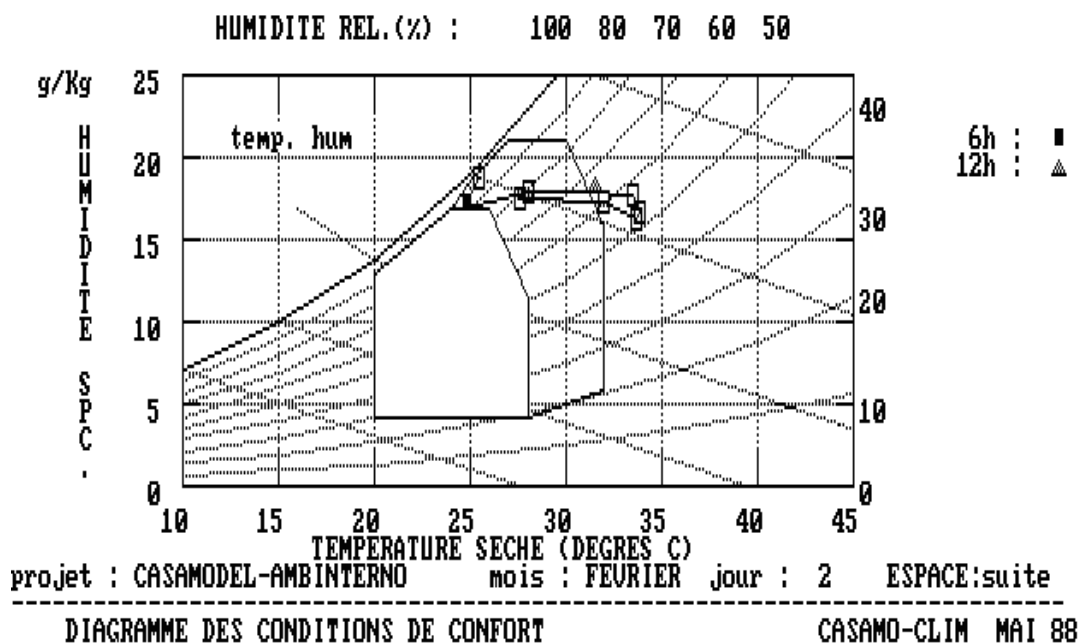


Figura 4: Resultado de simulação com o programa CASAMO-CLIM, mostrando o diagrama bioclimático (CÖRNER, 2001, p.121).

DIAGRAMME SOLAIRE

site :Baixada da Penha
 Latitude :-22.81 DEGRES N
 Mois :FEVRIER

Surface masquee : JAN S
 Orientation : 0
 Inclinaison : 90
 <ESPACE> poursuite....

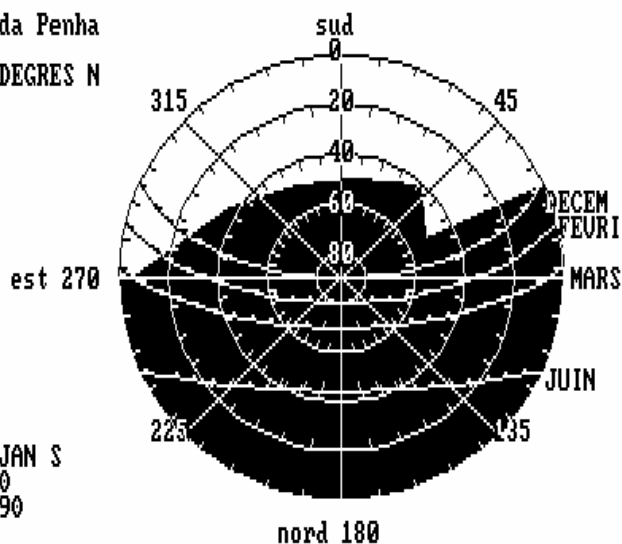


Figura 5: Desenho de máscara solar do programa CASAMO-CLIM (CÖRNER, 2001, p.89).

O programa Energy Plus é mais recente. Ele permite a simulação de várias zonas simultaneamente, e possibilita a obtenção de uma grande variedade de resultados para simulação de carga térmica e consumo elétrico de climatização.

Algumas das limitações estão sendo sanadas pelos diversos grupos de pesquisa que analisam e pretendem utilizar esse software. Como exemplo pode ser citado o *E2 – Ar-Condicionado (E2-AC)* do LabEEE da UFSC (figura 6), interface desenvolvida para especificar sistemas de ar-condicionado; sua geometria limita-se a um prisma retangular com a opção de inserção de janelas em fita. Embora seja uma interface mais amena, ela não permite a simulação de várias zonas, que é uma das grandes vantagens do *Energy Plus*, mostrando-se muito simplificada para permitir a incorporação da simulação e suas diretrizes no desenvolvimento do projeto arquitetônico.

The screenshot shows the 'E2 - Ar Condicionado : Novo E2AC' window with the 'Alternativa: CasoBase' selected. The interface is organized into a sidebar on the left with buttons for 'Modelo', 'Alternativas', 'Simulação', and 'Relatórios'. The main area contains several input sections:

- Geometria:** Comprimento (eixo X): 7.00, Largura (eixo Y): 3.50, Pé-Direito (eixo Z): 2.60, Área construída: 24.50, Azimute: 15.00.
- Cargas Internas:** Iluminação (W/m2): 5.00, Equipamentos (W/m2): 5.00, Pessoas: 2, Padrão de uso: 8 horas, Infiltração (trocas/h): 0.00.
- Ar-Condicionado:** Tipo de Ar-Cond.: Sem sistema, Setpoint (oC): 0.00, COP: 0.00, Renovação de ar (m3/s/pes): 0.010, Autodimensionamento (unchecked), Capacidade Total (W): 0.00, Ventilação (m3/s): 0.000, Fator de calor sensível: 0.70.
- Cobertura:** Tipo: [dropdown], Cor: [dropdown], Absortância: 80.00 %.
- Paredes e Janelas:** Tipo de Parede: [dropdown], Absort(%): 15.00, Tipo Janela: [dropdown], Área(%): 15.
- Piso:** Tipo: concreto+ceramica (15cm).

A button 'Caracterizar paredes individualmente' is located below the wall and window settings.

Figura 6: Tela de inserção de dados do *E2-AC*, onde se colocam as dimensões da geometria a ser simulada, na forma de um prisma regular.

Outro fator relevante é a necessidade de ter os dados climáticos da região em estudo para a aplicação nos softwares *DOE* e *Energy Plus*, que permitem simular ambientes construídos em qualquer local no Brasil.

Em 1997, foi disponibilizado o primeiro arquivo de Ano Climático de Referencia (TRY) para as quatorze capitais brasileiras, dentre elas o Rio de Janeiro (UFSC, 1997) que pode ser utilizado no *DOE*. A grande vantagem deste arquivo é estar disponível gratuitamente na Internet (www.labeee.ufsc.br).

A tela ilustrada pela figura 7 mostra como inserir os dados climáticos da cidade em estudo na interface *E2-AC*.

E2 - Ar Condicionado

Rio de Janeiro

Novo Gravar Atualizar Excluir

Nome da Cidade: Rio de Janeiro

Latitude: -22.83 (*) positivo para leste

Longitude: -43.25 (*) positivo para norte

Altitude: 5.00 (*)

Fuso horário: -3 positivo para leste

Dados dos dias de Projeto

	Verão	Inverno	
TBS Máxima:	33.60	15.70	(°C)
TBU Coincidente:	25.70	15.70	(°C)
Amplitude:	6.90	6.90	(°C)
Pressão:	101500.00	101500.00	(Pa)
Velocidade do vento:	3.80	1.40	(m/s)
Direção do vento:	135.00	0.00	(°)

Temperaturas do solo: (°C)

Janeiro: 26.20

Fevereiro: 26.50

Março: 26.00

Abril: 24.50

Maio: 23.00

Junho: 21.50

Julho: 21.30

Agosto: 21.80

Setembro: 21.80

Outubro: 22.80

Novembro: 24.20

Dezembro: 25.20

Definir temperaturas do solo igual a média mensal do arquivo climático

Arquivo Climático: riodejaneiro.epw

Fechar

Figura 7: Dados climáticos TRY disponíveis na internet para download.

Esta equipe de pesquisa (FAU/UFRJ) percebeu um aparente erro nos resultados da simulação no Energy Plus a partir da utilização destes arquivos climáticos, pois não fica claro o valor atribuído à temperatura do céu. Segundo Michael Witte, um dos responsáveis pela pesquisa, desenvolvimento e validação do Energy Plus, caso o arquivo climático não contenha esse dado o software adota a seguinte fórmula:

$$OSky = OpaqueSkyCover$$

onde Osky parece ser o coeficiente de nebulosidade .

$$TDewK = MIN(DryBulb, DewPoint) + Tkelvin$$

onde TdewK é a temperatura externa de Bulbo Seco em Kelvin e DewPoint é o ponto de orvalho (o que já nos parece estranho, pois em geral ponto de orvalho é menor que a temperatura de Bulbo Seco).

$$ESky = (.787 + .764 * LOG((TDewK) / TKelvin)) * (1. + .0224 * OSky - 0.0035 * (OSky ** 2) + .00028 * (OSky ** 3))$$

onde Esky parece ser o coeficiente de emissividade do céu.

Com este resultado ele calcula a temperatura do céu:

$$\text{SkyTemp} = (\text{DryBulb} + \text{TKelvin}) * (\text{ESky}^{**}.25) - \text{TKelvin}$$

Como se pode verificar, atribuindo dados conhecidos aos parâmetros, as fórmulas indicadas por Michael Witte geram valores com uma diferença de cerca de 10°C abaixo daqueles atualmente utilizados para a temperatura de céu em clima tropical úmido³. Essa diferença distorce o sentido das transferências radiativas e produz resultados errados, indicando, durante o período noturno, temperaturas internas muito mais baixas que as externas (sem ar-condicionado).

A fórmula, muito mais simples, que vem sendo utilizada nos nossos trabalhos (Corbella e Yannas, 2003) para obtenção do dado de temperatura do céu para locais com clima tropical úmido, como o Rio de Janeiro, no verão é dada (na mesma nomenclatura anterior) por:

$$\text{SkyTemp} = \text{DryBulb} - 5^{\circ}\text{C}$$

E no inverno é dada por:

$$\text{SkyTemp} = \text{DryBulb} - 10^{\circ}\text{C}$$

Com as quais se conseguem resultados mais coerentes. Essa discrepância merece uma revisão para que se possa utilizar o *Energy Plus* em locais com clima tropical úmido.

2.3 Utilização de softwares por arquitetos: proposta de desenvolvimento.

Os softwares existentes começam a se adaptar ao profissional arquiteto, incorporando uma interface com os atuais programas de modelagem. Porém, ao estudar os programas utilizados para a simulação do ambiente construído, percebe-se que eles foram desenvolvidos por e para engenheiros, pois fazem uso de uma apresentação rígida, dura, requerendo a introdução de dados (figura 8) que não fazem parte do cotidiano dos arquitetos.

Class List		Comments from IDF					
[-----] WATER MAINS TEMPERATURES							
Surface Construction Elements							
[0007] MATERIAL:REGULAR							
[-----] MATERIAL:REGULAR-R							
[0002] MATERIAL:AIR							
[0001] MATERIAL:WINDOWGLASS							
[-----] MATERIAL:WINDOWGLASS:AltInput							
[-----] MATERIAL:WINDOWGLASS							
[-----] MATERIAL:WINDOWGASMIXTURE							
[-----] MATERIAL:WINDOWSHADE							
[-----] MATERIAL:WINDOWBLIND							
[-----] MATERIALPROPERTY:MOISTURE:MTF							
[-----] MATERIALPROPERTY:MOISTURE:EMPD							
[-----] MATERIALPROPERTY:MOISTURE:MFD							
[-----] WindowGlassSpectralData							
[0004] CONSTRUCTION							
Explanation of Keyword		Regular materials described with full set of thermal properties					
ID: A1		Enter a alphanumeric value					
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Argamassa de Emb	Ceram Tij Duplo 8 ft	Argamassa de rebor	Concreto maciço (11	Piso cerâmico (10 m	Telha de fibro-cimer
Roughness		Rough	Rough	Rough	Rough	Rough	Rough
Thickness	m	0.025	0.234	0.025	0.1	0.01	0.007
Conductivity	W/m-K	1.15	0.9	1.15	1.75	0.9	0.95
Density	kg/m3	2000	613	2000	2400	1600	1900
Specific Heat	J/kg-K	1000	920	1000	1000	920	840
Absorptance: Thermal		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Absorptance: Solar		0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2
Absorptance: Visible		0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2

Figura 8: Janela de inserção de dados da construção no software *Energy Plus*.

³ Veja-se, por exemplo, o livro de Duffie e Beckman, 1990.

Propõe-se, a partir das pesquisas efetuadas e das informações acumuladas sobre a operação destas ferramentas, o desenvolvimento de um software em linguagem arquitetônica e de acordo com o processo de concepção do projeto que possa ser operado por qualquer arquiteto. O programa deve ser simples no manuseio, sem exigir demasiados conceitos de física e matemática, ou demandar um conhecimento específico na área de conforto e eficiência energética.

A perspectiva futura é de que normativas de consumo energético das edificações sejam concluídas e colocadas em prática. Com o software adequado, qualquer profissional poderá antever o consumo de energia elétrica do seu projeto para que o mesmo seja aprovado perante os órgãos competentes. As normativas estão em fase de elaboração⁴ e em breve serão adotadas exigências para a aprovação do projeto, como já existem no hemisfério norte, em países como a França e os Estados Unidos, que exigem demonstrar sua previsão de consumo de energia elétrica.

3 AGRADECIMENTOS/ RECONHECIMENTO

Um dos autores, a arquiteta Alícia Vieira Rodriguez Romero, deseja agradecer o apoio do CENPES/UFRJ pela concessão da bolsa de estudos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, que vem sendo desenvolvida no PROARQ/UFRJ.

4 REFERÊNCIAS

- Centre d'Energétique Casamo-Clim, 1980. Manuel d'Utilisation 1989 et Cahier Scientifique, version 1988, IBM, PC et compatibles, École de Mines, Paris.
- Corbella O. D. e Yannas, S. 2003. Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos, Ed. Revan, Rio de Janeiro. 288 pp.
- Cörner, Viviane Nayala, 2001. A Janela como Elemento Térmico na Construção: Considerações em Clima Tropical Úmido, situação de Verão. Rio de Janeiro: PROARQ/FAU/UFRJ, (Dissertação de Mestrado em Arquitetura – Conforto Ambiental e Eficiência Energética).
- Duffie, J. A. e Beckman, W. A., 1990. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York.
- Energy Plus. 1996-2005. Official building simulation program of the United States of America. University of Illinois and the Regents of University of California. US Department of Energy.
- Fanger, P. O., 1972. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.
- Olgyay, V., 1963. Design with Climate: a bioclimatic approach to architectural regionalism, VNR, New York.
- Goulart, S. e Lamberts, R., 1997. Dados Climáticos de 14 Cidades Brasileiras para Projeto e Avaliação de Sistemas de Ar Condicionado. Núcleo de Pesquisa em Construção, LabEEE, UFSC, 283 pp.
- W.L. Tse, Albert T.P. So, W.L. Chan, Ida K. Y. Mak, 2005. The validity of predicted mean vote for air-conditioned offices, Emerald Full Text. Vol. 23, n. 13/14, pp. 558-569.

⁴ As normativas de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais e Públicos têm sido publicadas como versão experimental em outubro de 2006. A partir de 2012 serão obrigatórias.

**THERMAL COMFORT DETERMINATION IN EFFICIENT CONSTRUCTION:
ABOUT THE AVAILABLE SIMULATION SOFTWARE FOR ARCHITECTS.**

Abstract. *The concern through constructed environment ambient comfort reflects in the energy consumption, being part of the national politics of conservation and rational use of energy. Since middle of the passed century, research in first world countries had been carried through - U.S.A. and UE, countries of the hemisphere North and cold climate – looking for energy consumption reduction, especially since the energy crisis of 1973. Also, in our country research groups had dedicated its efforts to investigate new sources of energy and efficiency in the consumption. Though in Brazil a lot of measures had been taken from these researches, there's a lack of posterior continuity, when the crisis passed of its critical point. The building presents a considerable index of energy consumption, and the architect is responsible for planning the constructions, basically to offer users comfort. The research developed with computational tools in the FAU/UFRJ, search improved the architectural plan quality, and its integration with the local climate, aiming to increase the comfort and to diminish the consumption of electric energy and the installed power. Software of thermal and lightning simulation performance of the construction, when used in the initial phase of the design, allows foreseeing its performance energy. This generates, as consequence, an economy as much for man as for the society, and benefits for the conservation of the environment. However, there are no tools with friendly approach for the architects, with easy computer language helping to minimize the effect of the constant increase of energy consumption. The article desired to contribute for the development of the subject, being identified the parts of the problem and searching solutions.*