



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/CNPq – BIP/UFSC 2006/2007**

**TÍTULO DO PROJETO:
CONSTRUÇÃO, CONFORTO AMBIENTAL E USO RACIONAL
DE ENERGIA E ÁGUA**

*Análise de propriedades térmicas e ópticas de janelas
através de simulação computacional*

BOLSISTA:

Juliana Helena Milbratz, graduanda em Arquitetura e Urbanismo

PROFESSOR ORIENTADOR:

Roberto Lamberts

CO-ORIENTADOR:

Devis Luis Marinoski

Florianópolis, Agosto de 2007.

**CONSTRUÇÃO, CONFORTO AMBIENTAL E USO RACIONAL
DE ENERGIA E ÁGUA**

-

***Análise de propriedades térmicas e ópticas de janelas
através de simulação computacional***

Juliana Helena Milbratz

Bolsista

Roberto Lamberts

Professor Orientador

RESUMO

As janelas são elementos da fachada que apresentam um comportamento muito especial devido às propriedades térmicas e ópticas dos seus componentes, sendo de extrema importância para a eficiência energética das edificações. O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho térmico e óptico de diferentes tipos de janelas, utilizando processos de simulação computacional, desenvolvendo também o conhecimento na utilização dos programas WINDOW 6 e WIS. Após uma revisão bibliográfica nacional sobre o tema, foram elaborados os seis primeiros modelos de janelas com uma dimensão padrão de 1,50m x 1,20m, variando os tipos de vidros, e sendo determinadas as seguintes propriedades: Transmitância Térmica, Fator Solar e Transmitância a Luz Visível. Os vidros utilizados foram: o vidro claro 3mm, vidro claro 6mm, vidro duplo 3mm, vidro verde 3mm e vidro reflexivo 6mm. A partir destes tipos de vidros foram criados modelos de janelas com uma esquadria de PVC genérica. Em um segundo momento, foram feitos modelos mais complexos com diferentes proteções solares encontradas no mercado. Os modelos foram então comparados com um caso base, representado por uma janela utilizando um vidro claro 3mm (mais comumente utilizado na construção civil brasileira). Entre os modelos simulados na primeira parte do estudo, os modelos com proteção solar e vidro duplo foram os que apresentaram melhor desempenho em relação à transmitância térmica. Quanto ao Fator Solar, foram os com persiana e vidro reflexivo, porém estes são os que menos permitem a passagem da luz visível para o ambiente. Os resultados das simulações com proteções solares apresentaram pouca diferenciação em relação à Transmitância térmica, exceto no caso de persianas entre vidros. Quanto ao Fator Solar e a Transmissão de Luz Visível, o ponto que mais influenciou nos resultados foi o ângulo de inclinação da lâmina, tendo seus valores diminuídos à medida que aumentava o ângulo de inclinação, ou seja, quanto mais fechada estava a persiana.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Justificativa	5
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivos Gerais	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Estrutura do Trabalho	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Ganho de calor solar e fator solar	7
2.2 Determinação de propriedades ópticas de materiais transparentes	8
2.3 Outros estudos de conforto e desempenho térmico relacionados a janelas	10
2.4 Discussão Geral e considerações finais	11
3. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA SIMULAÇÃO DE JANELAS: WINDOW E WIS	13
3.1 Window 6 Research (W6)	14
3.2 Windows Information System (WIS)	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 Introdução	16
4.2 Condições de contorno	16
4.3 Características dos componentes de janelas	17
4.3.1 Vidros	17
4.3.2 Sistemas transparentes	18
4.3.3 Esquadria	19
4.3.4 Sistema de abertura completo	19
4.3.5 Aplicações de Proteções Solares	19
5. RESULTADOS	21
5.1 Resultados dos sistemas transparentes	21
5.2 Resultados dos sistemas de abertura completos	21
5.3 Resultados dos sistemas de aberturas completos com proteções solares	23
6. CONCLUSÕES	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
8. ANEXOS	30

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A adequação ao clima sempre induziu a forma do homem organizar seus espaços para garantir a sua sobrevivência, buscando muitas vezes soluções na arquitetura através, por exemplo, da escolha de materiais de seus componentes. As janelas são um dos componentes mais significativos no design de qualquer prédio, presentes ora como pequenas aberturas na fachada ou como completas parede de pano de vidro.

Embora a aparência seja importante, o tradicional propósito das janelas era prover luz, vista e ar fresco para os seus ocupantes. Após muitas tentativas de muitas edificações de utilizar ventilação mecânica luz artificial, está crescendo o reconhecimento do papel da janela de prover esses benefícios de maneira natural, contribuindo para o aumento da satisfação, saúde e produtividade dos ocupantes da edificação. Além disso, há uma necessidade urgente em significativos melhoramentos no desempenho energética dos edifícios. Geralmente, design de alto-desempenho é destinado pra produzir prédios que são energeticamente eficientes, saudáveis, econômicos num longo caminho, e que use recursos prudentes para minimizar o impacto ambiental. (CARMODY et al., 2004)

Para uma construção ser energeticamente eficiente e fornecer conforto térmico deve haver uma correlação entre os materiais empregados e fatores externos, relacionados às características próprias do local, refletindo o seu clima. Esses fatores agem diretamente no desempenho da edificação onde ocorrem fenômenos como a incidência de radiação solar através das aberturas, estando ligada a propriedades termo-físico de cada material.

O vidro é um componente da fachada que apresenta um comportamento muito especial e é de extrema importância nas decisões para se obter eficiência energética, pois são transparentes à radiação de onda curta (luz e calor emitidos pelo sol) e opaca à radiação de onda longa (calor emitido por fontes de baixa temperatura). Devido a esta propriedade, ele pode gerar o fenômeno do efeito estufa. (SIGNOR, 1999).

As janelas têm representado a principal fonte de ganho de calor no verão e significativa perda de calor no inverno. Novos produtos para janelas e tecnologias têm mudado a desempenho energético das janelas numa maneira radical. Afetando a maneira como selecionamos as janelas e as usamos. (CARMODY et al., 1996)

No Brasil, as decisões de projeto devem ser balanceadas da melhor forma possível, visto que o país possui um clima muito diversificado. De acordo com a norma NBR15220-3 (ABNT, 2005), seu território é dividido em oito zonas bioclimáticas diferentes. Para cada zona dever-se-ia adotar um tratamento diferenciado de tipologias construtivas para que as edificações obtivessem um desempenho termo-energético o mais próximo do ideal, através do apoio de tecnologias passivas.

Porém, nota-se que na sua maioria as edificações não estão tirando proveito de seus componentes em relação ao clima local. Na arquitetura moderna tem-se feito um uso excessivo do vidro, deixando as construções mais suscetíveis a ganhos ou perdas de calor.

Frente à importância das decisões arquitetônicas, como um dos fatores determinantes do consumo de energia elétrica e conforto térmico de uma edificação, o estudo segue com a análise de desempenho térmico e energético de diferentes tipos de janelas utilizadas na construção civil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Analisar o desempenho térmico e energético de diferentes tipos de janelas utilizando processos de simulação computacional.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver o conhecimento na utilização dos programas WINDOW 6 e WIS.
- Elaborar modelos computacionais de janelas (variando os tipos de vidros e proteções solares) comumente utilizadas nas edificações brasileiras, e determinar algumas de suas propriedades térmicas e ópticas (transmitância térmica, fator solar e transmitância a luz visível).

1.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 é apresentado uma revisão bibliográfica nacional sobre os estudos publicados de desempenho térmico e energético das janelas e aberturas, bem como a sua influencia sobre o consumo de energia das edificações.

A seguir no capítulo 3 são apresentados dois dos principais programas computacionais utilizados para simulação de desempenho de janelas.

No capítulo 4 é descrita a metodologia usada para a simulação dos modelos de janelas. Após definir as condições de entorno, baseadas em valores adaptados às condições brasileiras, foram determinadas as características dos componentes das janelas, como os tipos de vidro, esquadria, e proteções solares quando existentes.

O capítulo 5 mostra os resultados das simulações, apresentados através de tabelas e gráficos ilustrativos.

Por fim, no capítulo 6 são expostas algumas considerações finais e conclusões obtidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma revisão bibliográfica nacional foi realizada sobre os estudos publicados de desempenho térmico e energético das janelas e aberturas, bem como a sua influência sobre o consumo de energia das edificações entre os anos de 1980 e 2005.

2.1 Ganho de calor solar e fator solar

Os estudos realizados por pesquisadores brasileiros relacionados diretamente com medição de ganho de calor solar através de janelas foram iniciados por Pereira e Sharples (1991), e Pereira (1993), que desenvolveram um dispositivo para medir o ganho de calor solar e determinar coeficientes de sombreamento de sistema de abertura em escala reduzida. O dispositivo permite quantificar a radiação solar transmitida diretamente pelo elemento transparente somada a radiação absorvida e retransmitida, utilizando sensores de fluxo de calor. O aparato foi na época chamado de radiômetro de abertura (ou fenestration radiometer). Dando seqüência a esta linha de pesquisa, Macedo et al. (2003) construíram um novo protótipo do radiômetro, que foi utilizado para verificação térmica e luminosa de seis sistemas de abertura também em escala reduzida. Mais tarde, Marinoski et al. (2005) realizaram calibrações e testes com os sensores utilizados no mesmo equipamento. O funcionamento do radiômetro foi também aperfeiçoado através da troca do sistema original de resfriamento a ar para um sistema de resfriamento através de circulação de água, o que reduziu o erro dos valores do fator solar determinado.

Já Dutra et al. (1995), apresentam um método desenvolvido para determinar o chamado fator de ganho térmico solar desejável (ou fator solar desejável) de janelas, que é calculado como uma proporção da radiação solar incidente em uma janela, que é transmitida ao interior do ambiente. O resultado da análise mostra a necessidade de maior ou menor sombreamento da abertura, em função da necessidade de aquecimento ou resfriamento do ambiente, para que sejam atingidos níveis de conforto. O cálculo leva em consideração o ganho de calor devido à radiação solar através da fachada, incluindo área de vidros e parede, também a diferença de temperatura interna e externa e os ganhos de calor internos da edificação. O ganho de calor real é comparado ao ganho desejável possibilitando estimar o fator de ganho requerido para a janela.

Outra linha de pesquisa desenvolvida é a estimativa do fator solar e ganho de calor de elementos transparentes a partir de propriedades ópticas dos materiais transparentes. Santos et al. (2001) analisam o uso do fator de ganho de calor solar (em W/m^2) e do coeficiente de sombreamento para o cálculo simplificado de carga térmica através de vidros reflexivos. Medições de transmissão, reflexão, e cálculo de fator solar em ângulos variados foram realizadas para sete vidros reflexivos. Estes vidros têm um comportamento diferente em relação às propriedades do vidro de referência 3mm (principalmente para ângulos de incidência acima de 50°) usado como padrão para o coeficiente de sombreamento. Sugere-se que seja utilizado um tipo de elemento hipotético de referência para representar estes materiais, baseado nas características do grupo, buscando reduzir a variação do coeficiente de sombreamento em função

do ângulo de incidência. Também é proposta a criação de tabelas regionalizadas de fator de ganho de calor solar, para minimizar a incerteza no coeficiente de troca de calor superficial, uma vez que este depende da velocidade do vento adotada para o local.

Santos (2002) desenvolveu uma metodologia que possibilita o cálculo simplificado de ganho de calor e luz natural através de diferentes vidros, películas, policarbonatos e acrílicos, comumente utilizados na construção civil brasileira. A partir deste estudo, em dois trabalhos subseqüentes Santos et al. (2003a, 2003b) foram calculados os valores de fator solar para 60 elementos transparentes em função do ângulo de incidência. Depois disso os materiais foram classificados em 5 grupos com comportamento semelhantes do chamado fator de ganho de calor relativo, que é resultado da divisão do fator solar de cada ângulo de incidência pelo resultado de incidência normal. Em cada um dos grupos foi determinada uma equação genérica do fator solar de um material hipotético que representa o grupo e pode ser utilizado na estimativa do ganho de calor solar para elementos semelhantes aos do grupo.

2.2 Determinação de propriedades ópticas de materiais transparentes

A determinação das propriedades ópticas de vidros e outros materiais transparentes também tem sido foco de vários estudos voltados para a melhoria do conforto térmico nas edificações brasileiras. Tendo este assunto em vista, inicialmente Pereira (1995) apresentou um dispositivo construído com base no Scannig Radiometer desenvolvido pelo LBNL para caracterização do comportamento radiante de aberturas (neste caso a transmitância bidirecional), em especial a distribuição angular de luminâncias.

Já Labaki e Caram (1995) realizaram um estudo de análise dos vidros utilizados nas janelas das edificações através do levantamento das curvas de transmissão espectral de alguns vidros planos, caracterizando-os óptica e termicamente através de espectrofotometria. O objetivo era caracterizar os vidros mais utilizados na construção civil no Brasil, e criar um acesso a dados confiáveis pelos projetistas. Foram estudados vidros de fabricação nacional, do tipo monolítico, incolor e nas cores cinza, bronze e verde e também os chamados vidros refletivos, incolor e prata. A curva de transmissão espectral do vidro verde foi a que mais se aproximou do que poderia ser chamado vidro ideal devido à propriedade de prover maior luminosidade ao ambiente e redução da passagem da radiação solar na região do infravermelho. No mesmo ano, Caram et al. (1995) apresentou um estudo semelhante ao anterior, estabelecendo relações entre as radiações transmitidas através de alguns vidros planos, empregados na construção civil, e suas características espectrofotométricas com ênfase na energia transmitida diretamente. Ainda, o trabalho alerta sobre a importância dos fabricantes de vidros fornecerem dados completos sobre as características para as três regiões do espectro distintamente (UV, visível e Infravermelho), visando a identificação do desempenho individual de cada vidro em relação às radiações incidentes. Labaki et al. (1997) analisou dois tipos de vidros refletivos, metalizados a vácuo e os pirolíticos, para verificar seus desempenhos nas diferentes regiões do espectro e observou que os vidros obtidos por metalização a vácuo apresentaram melhor proteção solar.

Quatro anos mais tarde foram apresentados três estudos através de análise espectrofotométrica. Sichier et al. (1999) avaliou a transmitância de espectro solar através de vidros eletrocromicos obtidos pela deposição de óxido de nióbio (Nb_2O_5) e de óxido de tungstênio (WO_3), com o método SOL-GEL sonocatalítico avaliando seus potenciais para aplicações na arquitetura. Nos resultados a transmissão de ultravioleta foi considerada baixa para os eletrocromicos, independente de o vidro encontrar-se polarizado ou não, porém o filme de WO_3 apresentou melhor desempenho considerando a sua durabilidade e a reversibilidade pela capacidade de transmissão no visível, sendo mais promissor para confecção de janelas inteligentes. Também Caram et al. (1999) comparou a transmissão ótica entre as películas refletivas e não refletivas ensaiadas sobre superfícies de vidros planos incolores de 6mm de espessura, ficando as refletivas em vantagem por manterem ainda uma pouca transparência à luz, mas conseguindo atenuar significativamente o calor. Ainda, Labaki et al. (1999) apresentou uma discussão sobre o desempenho térmico proporcionado por vidros e policarbonatos, com o objetivo de uma análise das características dos policarbonatos em relação à sua interação com a radiação de onda longa. A transmissão apresentada para os materiais foi nula, sendo, portanto totalmente opacos à região do infravermelho longo, mostrando que o chamado efeito estufa está presente não só com vidros, mas também com o emprego de policarbonatos em fachadas, devendo ser adotada com mais critério pelos projetistas.

Gilio et al. (2001) continuou o estudo nesta linha de pesquisa caracterizando oticamente materiais transparentes refletivos, no caso os vidros refletivos metalizados a vácuo e películas refletivas de controle solar. Observou que para o infravermelho próximo, as películas apresentam uma reflexão muito maior que os vidros refletivos, sendo, portanto mais indicadas quando se deseja evitar o ganho de calor. Também neste mesmo ano, Nicolau e Maluf (2001) apresentaram um método de identificação de índice de refração e coeficientes de absorção de vidros comerciais a partir da medição de transmitividade e refletividade dos materiais em uma faixa espectral de 400 a 4000nm. Também foi apresentado um modelo numérico para o cálculo da transmitância, refletância e absortância destes materiais. Como resultados o trabalho apresenta os resultados das propriedades determinadas (coeficiente de absorção, índice de refração, transmitância, refletância e absortância) para três tipos de vidros (claro, bronze, cinza) com espessura de 4mm.

Após isso, Santos et al. (2004) realizou uma análise comparativa entre materiais de mesma coloração, considerando-se a variação do Fator de Calor Solar (FCS) e da Transmitância no Visível (TV) através de ensaios espectrofotométricos de diferentes tipos de materiais transparentes, para ângulos variados de incidência. Os materiais comparados foram: vidros comuns, vidros laminados, vidros refletivos pirolíticos, vidros refletivos a vácuo, películas comuns, películas refletivas, policarbonatos e acrílico incolor. Foram analisadas as cinco cores mais comuns no mercado: incolor, verde, bronze, cinza-fumê e azul. Para todas as cores analisadas, observa-se que os vidros laminados, as películas e os policarbonatos praticamente eliminam a passagem do UV. Observa-se que os materiais transparentes ideais para o clima quente seriam os que apresentassem um baixo FCS e alta TV, ou seja, baixos ganhos de calor e alta transmissão de luz visível. No entanto, para todos os materiais transparentes estudados um maior valor de TV, está sempre associado um alto valor de FCS, sendo o inverso também verdadeiro. Todos os materiais estudados apresentam o FCS superior à

TV, no entanto essa diferença é mais elevada nos materiais cinza-fumê e bronze, demonstrando uma menor eficiência energética em relação ao balanço entre o conforto visual e térmico para climas quentes.

2.3 Outros estudos de conforto e desempenho térmico relacionados a janelas

Já a partir dos anos 80 outros trabalhos envolvendo a influência das janelas no conforto e desempenhos térmicos das edificações estavam em desenvolvimento. Pereira (1984) realizou um estudo no edifício sede do CREA-RS para caracterizar e quantificar a assimetria do campo interno de radiação, induzida por superfícies envidraçadas de edificações. Através de medições de temperatura em um caso real, os resultados foram comparados com o modelo matemático de comportamento térmico desenvolvido para a edificação, e em seguida foram aplicados questionários para avaliar as condições de conforto dos ocupantes do prédio.

Mais tarde, Beyer e Sarvadoretto (1995) analisaram a influência da área de janelas externas no fluxo de calor existente nas diferentes fachadas de um edifício, sendo calculadas as suas cargas térmicas através do programa computacional de simulação ACTerm. O tipo de vidro utilizado foi o termo-absorvente (fumê), 3mm, com caixilho metálico e sem proteção externa (contendo somente uma cortina opaca clara como proteção interna). Os exemplos considerados foram desenvolvidos para as cidades de Porto Alegre e Rio de Janeiro. Ficou evidenciado o comportamento diferenciado das duas cidades, em relação à latitude e temperaturas externas, para condição de verão e inverno.

Neto et al. (1999) analisou o efeito de diferentes materiais para envidraçamento no custo de equipamentos de condicionamento de ar e sua operação em edifícios comerciais, sendo feita uma pré-avaliação econômica de algumas alternativas de produtos que podem ser utilizados em caixilhos, considerando as condições climáticas de três cidades brasileiras (São Paulo, Recife e Porto Alegre) para o caso de edifícios típicos de escritório. Foram considerando os vidros: 6mm incolor (referência para comparações); policarbonato cinza; vidro reflexivo prata e eletrocromico. Através de simulações utilizando o programa BLAST, foram determinados o perfil de cargas térmicas, a capacidade da unidade de resfriamento e o seu consumo energético anual. Verificou-se na época que devido o valor ainda baixo da tarifa de energia elétrica, seriam compensadores apenas os investimentos em alternativas que produzam reduções expressivas no consumo energético anual. Também, concluiu-se que a aplicação de diferentes tipos de envidraçamento não afeta significativamente o valor máximo da carga térmica quando o ambiente possuir uma geração de calor elevada (sensível e latente) por fonte interna. Porém isto não invalida o uso de novas das tecnologias de vidros, uma vez que estas contribuem para a melhoria do conforto dos ocupantes do ambiente condicionado em outros aspectos, tais como o ofuscamento pela diminuição de incidência de luz natural ou pela redução da radiação solar diretamente sobre as pessoas.

Alguns autores também apresentam artigos na forma de revisão em relação a diversos temas relacionados às janelas. Corato et al. (2001) relatou a variedade de tecnologias de vidros existentes e sua importância para a redução do consumo

de energia na edificação. Destaca-se também a dificuldade existente no Brasil, por parte dos profissionais de engenharia e arquitetura, os quais precisam se ajustar ao que já foi absorvido pelo mercado e otimizar o seu uso, devido muitas vezes a falta de tecnologias adequadas para as necessidades do clima brasileiro. Grillo e Amorim (2004) apresentaram uma revisão sobre as Normas brasileiras referentes ao componente janela, procurando identificar aquelas relacionadas à eficiência e ao conforto na edificação.

Castro et al. (2004) estudaram o comportamento de superfícies transparentes como fachadas através de medições em protótipos. Inicialmente se estudou o comportamento térmico in loco de alguns tipos de vidros e os resultados foram apresentados em gráficos comparativos dos diferentes vidros analisados em relação a temperatura externa e as temperaturas superficiais internas dos vidros, permitindo assim inferir o desempenho térmico dos mesmos. Observou-se que embora os vidros termo-absorventes apresentem temperaturas superficiais elevadas, devido à absorção da radiação solar, na prática, resultam em uma diminuição significativa na temperatura do ar (cerca de 3°C). O vidro bronze apresentou a maior atenuação quanto à temperatura interna do ar, e o incolor, a menor. Percebeu-se que, forma geral, pode haver uma diferença na temperatura superficial entre os vidros absorventes e o incolor de até 15°C. No ano seguinte, Castro et al. (2005), relacionaram o desempenho térmico de três tipos de vidros instalados em protótipos e sua influência no ganho de calor solar. Para a análise do desempenho do vidro foi primeiro instalado uma mini-estação meteorológica automática para adquirir dados do micro clima local e após relacionar com a temperatura dentro do protótipo. O vidro incolor foi o que apresentou maior ganho de calor solar, além de apresentar as maiores temperaturas do ar dentro do protótipo, já o vidro laminado foi o que conduziu às menores temperaturas de ar internas.

2.4 Discussão Geral e considerações finais

- No Brasil há uma grande variedade de materiais transparentes a disposição da construção civil. Estes apresentam variações significativas da passagem da radiação solar nos diferentes intervalos espectrais (UV, visível, Infravermelho), o que em muitos casos não é de conhecimento dos profissionais atuantes no mercado.
- A atividade experimental é a base para a maioria dos estudos relacionados tanto ao ganho de calor solar, quanto à medição de propriedades ópticas. No entanto, observa-se que poucos trabalhos apresentam desenvolvimento matemático associado, uma vez que isto geralmente envolve cálculos complexos.
- A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) tem dado continuidade durante os últimos anos ao desenvolvimento dos trabalhos relativos à medição de ganhos de calor utilizando sistemas experimentais. Embora o estudo experimental seja difícil devido ao número de variáveis envolvidas e dos sistemas de monitoramento necessários, o esforço de pesquisa conjunto entre laboratórios de diferentes departamentos (engenharia civil, mecânica e arquitetura) tem contornado este obstáculo. Paralelamente nesta instituição, também tem sido dada atenção a medição de propriedades ópticas de vidros e películas através do

desenvolvimento de uma bancada experimental montada no departamento de engenharia mecânica.

- No estado de São Paulo algumas universidades (UFSCar, Unicamp, USP) têm se destacado no estudo de propriedades ópticas de materiais transparentes através de estudos espectrofotométricos que foram iniciados já em meados dos anos 90. Os estudos que apresentam estas informações geralmente contêm análises e recomendações quanto à melhor aplicação de cada tipo de material transparente, tendo em vista a sua potencialidade em relação ao desempenho térmico da edificação.
- Apesar do bom número de pesquisa observados, ao longo dos anos ainda não foi realizada uma compilação que contenha todos os elementos transparentes que já tenham suas propriedades caracterizadas, agrupando estes na forma de uma base de dados nacional padronizada. Isso evitaria a sobreposição de futuros trabalhos que possam ser direcionados para a mesma linha de pesquisa, além de facilitar a disseminação dos resultados.
- Atualmente no Brasil o coeficiente de sombreamento (CS) continua sendo utilizado como índice de referência para avaliação do desempenho de vidros e janelas. Empresas do setor costumam incluir este valor em seus catálogos de produtos. Porém em âmbito internacional este índice vem sendo substituído continuamente pelo fator solar (FS). Desde o início dos anos noventa o uso do CS vem sendo criticado (Mccluney, 1991), sendo considerado inadequado para este tipo de avaliação. Argumenta-se que o CS não é apropriado para utilização em simulações horárias de desempenho, pois o ângulo de incidência muda constantemente. Além disso, o próprio nome de CS não explica de maneira clara o que se espera do índice, por exemplo, um número elevado do CS indica uma menor habilidade de proteção ao ganho de calor solar. Seguindo esta tendência, também a ASHRAE (2005) e a NFRC (2005) vem utilizando o fator solar como índice oficial de desempenho nas certificações de janelas.
- A questão das normas voltadas para o conforto térmico relativo às janelas e aberturas ainda continua sendo uma lacuna. Até o ano de 2005 existiam no Brasil apenas normas oficiais voltadas para a atividade industrial, como a fabricação de caixilhos e vidros, as quais abordavam o caráter físico da janela sem relacioná-los a questões de eficiência energética. Porém, neste mesmo ano, teve início um projeto governamental, envolvendo o Ministério de Minas de Energia, Procel-Eletronbras e UFSC, visando desenvolver uma regulamentação de nacional de eficiência energética para edificações comerciais, a qual leva em consideração o fator solar das aberturas.

3. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA SIMULAÇÃO DE JANELAS: WINDOW E WIS

O WINDOW e o WIS são dois dos principais programas mundialmente conhecidos, aplicados na simulação do desempenho de vidros e janelas. O WINDOW e o WIS auxiliam na determinação das características térmicas, ópticas e solares de sistemas de janelas e seus componentes através da simulação de modelos computacionais. (Duer et al. 2002)

Os programas contêm bibliotecas com os elementos básicos para composição de aberturas, como os vidros, esquadrias e gases de baixa condutividade. Os programas também permitem a definição de dispositivos de proteção solar.

O WINDOW começou a ser desenvolvido nos EUA pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) no começo dos anos 90. A versão apresentada neste capítulo é a chamada Research Version (v6.1.06) lançada no ano de 2006. O programa contém uma base de dados com diversas opções para a definição dos produtos. Para definição dos vidros utiliza a base IGDB (International Glazing Data Base).

A primeira versão do WIS (Windows Information System) foi desenvolvida em um projeto de pesquisa coordenado pelo TNO (Building and Construction Research) da Holanda entre 1994-1996. Uma atualização do programa foi realizada através de um projeto de pesquisa patrocinada pela Comissão Européia de Transportes e Energia durante o período de 2001-2004 (Dijk et al., 2003). A versão apresentada neste capítulo é a v3.01 do ano de 2003. Os produtos vítrios utilizados no WIS são listados nas bases de dados do formato WINDAT, contidas no programa.

3.1 Window 6 Research (W6)

Os principais itens do programa na tela inicial (Figura 1) são: os ícones – vidros, esquadria, gás, divisores e condições ambientais – para o detalhamento dos diversos componentes de janela e seu modelo (desenho esquemático). Para especificação de cada modelo de janela trabalhada há campos de dimensionamento e tipo de vidros. Um quadro apresenta os resultados totais (U-factor, SHGC, VT).

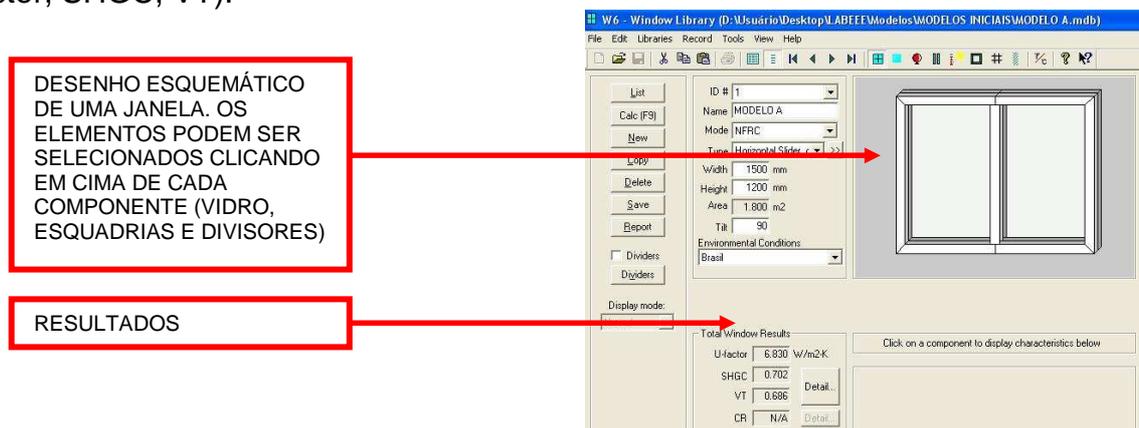


Figura 1. Tela inicial do programa W6.

Para começar a construir uma janela, primeiro selecionam-se as suas definições: o nome, modo, tipo, dimensões, inclinação e condições ambientais. Depois se seleciona um componente da janela de cada vez. Cada componente é disponibilizado em uma biblioteca com diversas opções de escolha e com as características necessárias para o cálculo. O W6 também permite fazer novas gravações de componentes, criando uma especificação que ainda não esteja no programa. A Figura 2 apresenta o fluxograma com os passos para a construção de janelas através do programa W6.

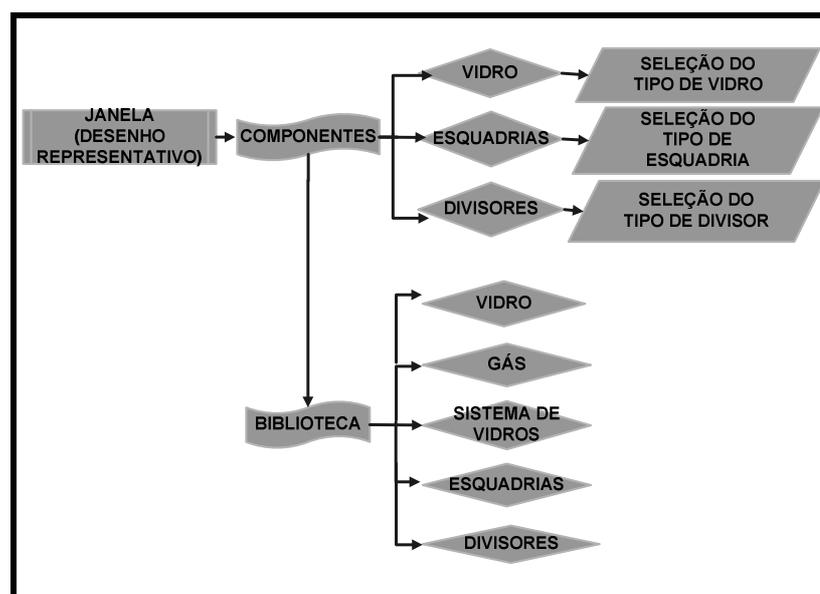


Figura 2. Fluxograma de construção da janela através do programa W6.

Mais informações sobre o uso do software podem ser obtidas através do site dos desenvolvedores e do manual de utilização do programa (LBNL, 2006).

3.2 Windows Information System (WIS)

O programa apresenta na sua tela inicial (Figura 3) apenas com os links para as telas de definição das condições ambientais, dos componentes da janela – esquadria, sistema transparente (vidros), proteções solares, posição do vidro e tipo de gás – e também a opção de fornecedores, cálculos e programas externos. Para começar a modelar um sistema de janela cada item de componente da janela deve ser definido previamente.

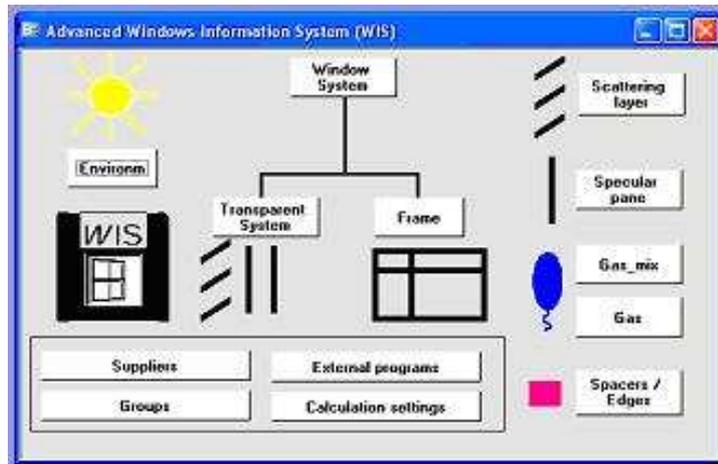


Figura 3: Tela inicial do programa WIS.

As principais propriedades de um sistema de janelas que são calculados no WIS são: fatores geométricos (área de esquadria projetada, área sistema transparente visível e perímetro de esquadria), U-value, g-value, transmitância solar direta, transmitância de luz e transmitância UV. A Figura 4 apresenta o fluxograma de construção de janelas através do programa WIS.

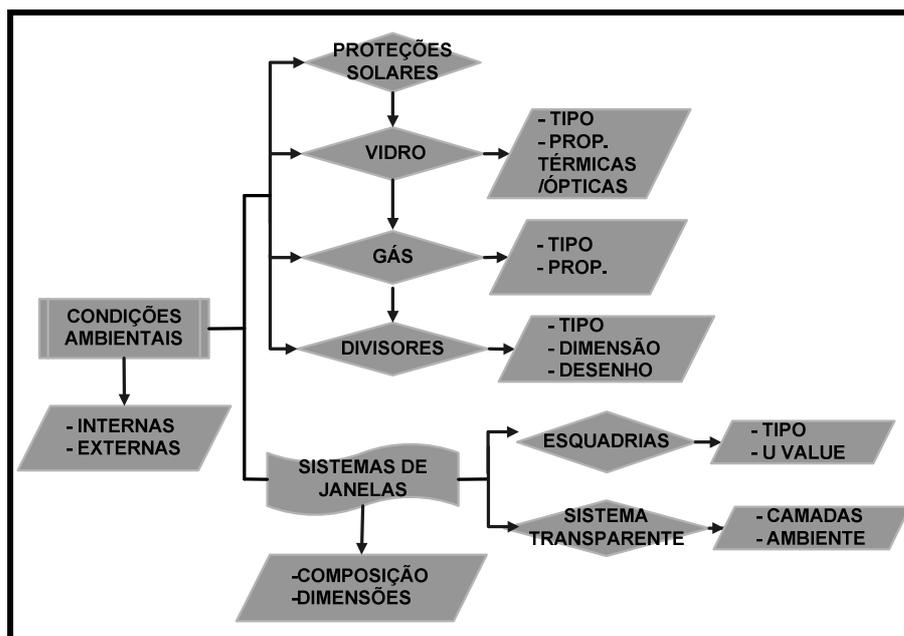


Figura 4. Fluxograma de construção da janela através do programa WIS.

Mais informações sobre o uso do software podem ser obtidas através do site dos desenvolvedores e do manual de utilização do programa (WIS, 2003).

4. METODOLOGIA

4.1 Introdução

No início deste trabalho a intenção era utilizar os dois programas computacionais para cálculo de índices de desempenho energético de janelas, o W6 e o WIS. Porém, sendo o W6 um software mais atualizado do que o WIS, apresentando uma interface mais ágil para a utilização por parte do usuário, e sua base de dados de vidros apresentar uma maior quantidade de produtos, além de ser mantida uma atualização periódica por parte dos desenvolvedores do programa, optou-se por simular os modelos somente utilizando o programa W6.

4.2 Condições de contorno

Para a realização do processo de cálculo da transmitância térmica e do fator solar dos modelos de janela simulados, é necessário estabelecer como dados de entrada do programas algumas condições de contorno específicas em relação a sua análise. Estas condições são definidas na forma de processos de transferência de calor, modelos de cálculo, fatores ambientais externos e internos e características dos materiais. A tabela 1 apresenta as condições ambientais fixadas:

Tabela 1. Condições ambientais mínimas estabelecidas para os modelos

<i>Condicionante ambiental</i>	<i>Valor</i>
TEMPERATURA DO AR INTERNO (°C):	22,0
TEMPERATURA DO AR EXTERNO (°C):	30,0
COEF. DE CONVECÇÃO INTERNA (W/m ² K):	7,0
COEF. DE CONVECÇÃO EXTERNA (W/m ² K):	25,0
RADIAÇÃO INCIDENTE (W/m ²):	1000

Os valores de temperatura do ar interno e externo adotados representam uma situação comum em climas brasileiros, no caso de ambientes climatizados. Já os valores dos coeficientes de convecção interna e externa foram aplicados com base nos valores de resistência térmica superficial para fluxo de calor horizontal, recomendados pela NBR15220-2 (ABNT, 2005). Para a radiação solar foi adotado um valor de incidência que representa uma condição extrema de ocorrência em fachadas horizontais para diferentes regiões do Brasil nos períodos de verão (Ordenes et al. 2007). Como padrão, os programas consideram o ângulo de incidência da radiação solar como sendo normal (perpendicular) ao plano da janela.

Para os casos simulados neste trabalho foi adotado no W6 o modelo de cálculo para o processo de troca de calor por convecção e radiação chamado de "Fixed Convection Coefficient". Já para modelo de radiação ainda se faz necessária à definição das seguintes variáveis: temperatura efetiva; emissividade do ambiente

interno; temperatura do céu; emissividade do céu. Os valores adotados são apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2. Dados de entrada para o modelo de radiação adotado no W6

<i>Variável ambiental</i>	<i>Valor</i>
TEMPERATURA EFETIVA (°C):	22,0
EMISSIVIDADE DO AMBIENTE INTERNO	0,95
TEMPERATURA DO CÉU (°C):	30,0
EMISSIVIDADE DO CÉU:	0,80

Para efeito de simplificação, no W6 assume-se que a temperatura efetiva seja igual à temperatura do ar interno e a temperatura do céu seja a mesma do ar externo.

Outras configurações específicas são necessárias para cada um dos programas. No caso do W6 para a matriz de cálculo, foram mantidos alguns valores *defaults* apresentados na tela de preferências do programa. Para os dados espectrais foi mantido o padrão “Condensed spectral data” onde é definido o número de comprimentos de ondas que serão utilizados para o cálculo, na faixa do espectro visível (380nm-780nm) e no infravermelho (780nm-2500nm), chamadas de bandas. O número padrão de bandas para o espectro visível e infravermelho apresentado no programa é de 5 e 10 respectivamente. Este modelo de análise exige um tempo menor de processamento do software (LBNL, 2006).

Como ajuste no método de cálculo para venezianas foi selecionada a opção “uniform diffuse” nas faixas do espectro visível/solar e também para comprimentos de onda no infravermelho distante. Esta opção assume uma distribuição uniforme em todas as direções de saída da radiação que incide no elemento de proteção solar (LBNL, 2006).

4.3 Características dos componentes de janelas

4.3.1 Vidros

A Tabela 3 apresenta a identificação dos tipos de vidros utilizados nos sistemas de abertura modelados no programa W6.

Tabela 3. Vidros utilizados nos modelos

<i>Tipo de vidro</i>	VIDRO CLARO 3MM
<i>ID:</i>	3013
<i>Nome:</i>	CLEAR_30.GRD
<i>Produto:</i>	FLOAT GLASS
<i>Fabricante:</i>	GUARDIAN
<i>Base de dados:</i>	IGDB V13.9
<i>Tipo de vidro</i>	VIDRO CLARO 6MM
<i>ID:</i>	3016
<i>Nome:</i>	CLEAR_60.GRD
<i>Produto:</i>	FLOAT GLASS
<i>Fabricante:</i>	GUARDIAN
<i>Base de dados:</i>	IGDB V13.9
<i>Tipo de vidro</i>	VIDRO VERDE 6MM
<i>ID:</i>	3026
<i>Nome:</i>	GREEN_60.GRD
<i>Produto:</i>	GREEN FLOAT GLASS
<i>Fabricante:</i>	GUARDIAN
<i>Base de dados:</i>	IGDB V13.9
<i>Tipo de vidro</i>	VIDRO REFLEXIVO
<i>ID:</i>	3137
<i>Nome:</i>	SGSR_32G6.GRD
<i>Produto:</i>	SUN-GUARD SILVER-32
<i>Fabricante:</i>	GUARDIAN
<i>Base de dados:</i>	IGDB V13.9

4.3.2 Sistemas transparentes

O sistema transparente é definido como a composição formada pelo pano envidraçado, mais um gás e uma proteção solar, quando existirem. Foram definidos seis tipos de sistemas transparentes para simulação. Os componentes de cada sistema são apresentados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4. Composição dos sistemas transparentes

<i>Modelo</i>	<i>Elemento Externo</i>	<i>Elemento intermediário</i>	<i>Elemento interno</i>
A	VIDRO CLARO 3MM	NENHUM	NENHUM
B	VIDRO CLARO 3MM	ESPAÇO DE AR	VENEZIANA 45°
C	VIDRO CLARO 6MM	NENHUM	NENHUM
D	VIDRO DUPLO 3MM	ESPAÇO DE AR	NENHUM
E	VIDRO VERDE 6MM	NENHUM	NENHUM
F	VIDRO REFLEXIVO 6MM	NENHUM	NENHUM

4.3.3 Esquadria

Como moldura dos sistemas transparentes foi construído um único exemplo genérico simplificado de esquadria. O material suposto para esta esquadria é um PVC com transmitância térmica de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, e uma área no plano dos vidros (largura) de 70mm.

No caso de modelo desenvolvido no W6 é necessário que o usuário defina uma classe de correlação de borda no contato entre a esquadria e o vidro, necessária para o cálculo da transmitância térmica total. Neste aspecto foi assumida a classe 4, que representa uma situação de contato totalmente isolado. O W6 também permite que o usuário defina a absorvidade da superfície da esquadria, neste campo foi mantido durante as simulações o valor padrão utilizado pelo programa, que é igual a 0,50.

4.3.4 Sistema de abertura completo

Por fim os sistemas de aberturas completos são formados aplicando a esquadria aos diferentes sistemas transparentes montados. São formados então seis modelos de janelas para simulação. No programa todos os modelos de janelas foram definidos com dimensões totais de 1500mm (largura) x 1200mm (altura), posicionados verticalmente como se estivessem localizados em uma parede convencional de uma edificação.

4.3.5 Aplicações de Proteções Solares

Em um segundo momento foi realizado um estudo mais aprofundado em relação às proteções solares. Tomando como base o modelo B, com vidro claro 3mm e esquadria de PVC, foram simulados demais situações com diferentes tipos de persianas internas, alterando seu tamanho e ângulo de abertura, baseando-se nas dimensões encontradas no mercado.

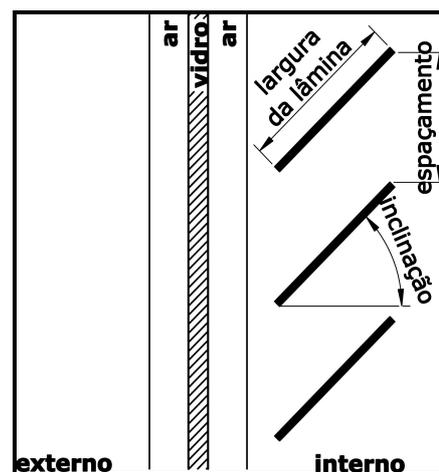
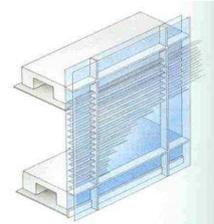


Figura 6. Esquema base do modelo de persiana interna.

A tabela 5 apresenta os modelos com proteções solares juntamente com os tipos de persianas de suas características:

Tabela 5. Modelos com Proteções Solares

<i>Modelo</i>	<i>Tipo de Persiana</i>	<i>Largura da Lâmina</i>	<i>Espaçamento entre Lâminas</i>	<i>Inclinação</i>	<i>Imagem</i>
B1	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	16 mm	10 mm	0°	
B2	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	16 mm	10 mm	45°	
B3	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	16 mm	10 mm	90°	
B4	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	25 mm	20 mm	0°	
B5	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	25 mm	20 mm	45°	
B6	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	25 mm	20 mm	90°	
B7	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	50 mm	40 mm	0°	
B8	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	50 mm	40 mm	45°	
B9	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO	50 mm	40 mm	90°	
B10	HORIZONTAL DE MADEIRA	50 mm	40 mm	0°	
B11	HORIZONTAL DE MADEIRA	50 mm	40 mm	45°	
B12	HORIZONTAL DE MADEIRA	50 mm	40 mm	90°	
B13	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS	25 mm	20 mm	0°	
B14	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS	25 mm	20 mm	45°	
B15	HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS	25 mm	20 mm	90°	
B16	PAINEL DE TECIDO CLARO	1500 mm	*	90°	
B17	PAINEL DE TECIDO ESCURO	1500 mm	*	90°	

* Considerou-se sendo uma única lâmina.

A Tabela 6 apresenta os valores de absorvidade das lâminas usadas nos modelos B16 e B17.

Tabela 6. Tabela de Absortividade (Lamberts et al, 1997)

<i>Cores</i>	<i>Absortividade</i>
CLARAS	0,3
ESCURAS	0,9

5. RESULTADOS

Todos os resultados de propriedades ópticas obtidos nas simulações dos modelos de janelas, descritos no item anterior, são calculados para um ângulo de incidência normal (perpendicular) ao plano da janela e consideram um valor hemisfericamente integrado na superfície de saída da radiação. No caso dos sistemas transparentes os resultados são relativos a centro do vidro. Já os valores de transmitância térmica são dependentes das condições de contorno previamente estabelecidas.

5.1 Resultados dos sistemas transparentes

A Tabela 6 apresenta os resultados da transmitância térmica (U), transmitância de luz visível (TV) e do Fator Solar (FS) para os seis modelos de sistemas transparentes propostos.

Tabela 6. Resultados das propriedades calculadas para os sistemas transparentes propostos

<i>Modelo</i>	<i>Descrição</i>	<i>U(W/m²k)</i>	<i>FS</i>	<i>VT</i>
A	VIDRO CLARO 3MM	8.358	0.914	0.899
B	VIDRO CLARO 3MM COM PROTEÇÃO*	6.879	0.387	0.247
C	VIDRO CLARO 6MM	8.352	0.906	0.891
D	VIDRO DUPLO 3MM	2.731	0.775	0.822
E	VIDRO VERDE 6MM	5.822	0.598	0.757
F	VIDRO REFLEXIVO	4.905	0.343	0.266

* Descrição: persiana horizontal 45°, 17,7mm, metal, branco opaco, referência na biblioteca W6 ID30101.

5.2 Resultados dos sistemas de abertura completos

Na Tabela 7 (ou através dos gráficos da Figura 7) são apresentados os resultados da transmitância térmica (U), do coeficiente de ganho de calor (SHGC) e da transmissão de luz visível (VT) para os seis modelos de sistemas de aberturas completos. Nestes resultados, observam-se as mesmas relações analisadas entre os diferentes casos do sistema transparente. Porém, agora os valores encontrados para cada propriedade são quantitativamente inferiores aos encontrados na Tabela 6, em função da aplicação da esquadria de PVC, que reduz a relação da área envidraçada com a área total da abertura.

Tabela 7. Resultados das propriedades calculadas para os sistemas de aberturas

completos

<i>Modelo</i>	<i>Descrição</i>	<i>U(W/m²K)</i>	<i>FS</i>	<i>VT</i>
A	PVC_VIDRO CLARO 3MM	6.830	0.702	0.686
B	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PROTEÇÃO	5.671	0.334	0.187
C	PVC_VIDRO CLARO 6MM	6.710	0.672	0.677
D	PVC_VIDRO DUPLO 3MM	3.185	0.614	0.624
E	PVC_VIDRO VERDE 6MM	6.710	0.492	0.575
F	PVC_VIDRO REFLEXIVO	6.031	0.299	0.202

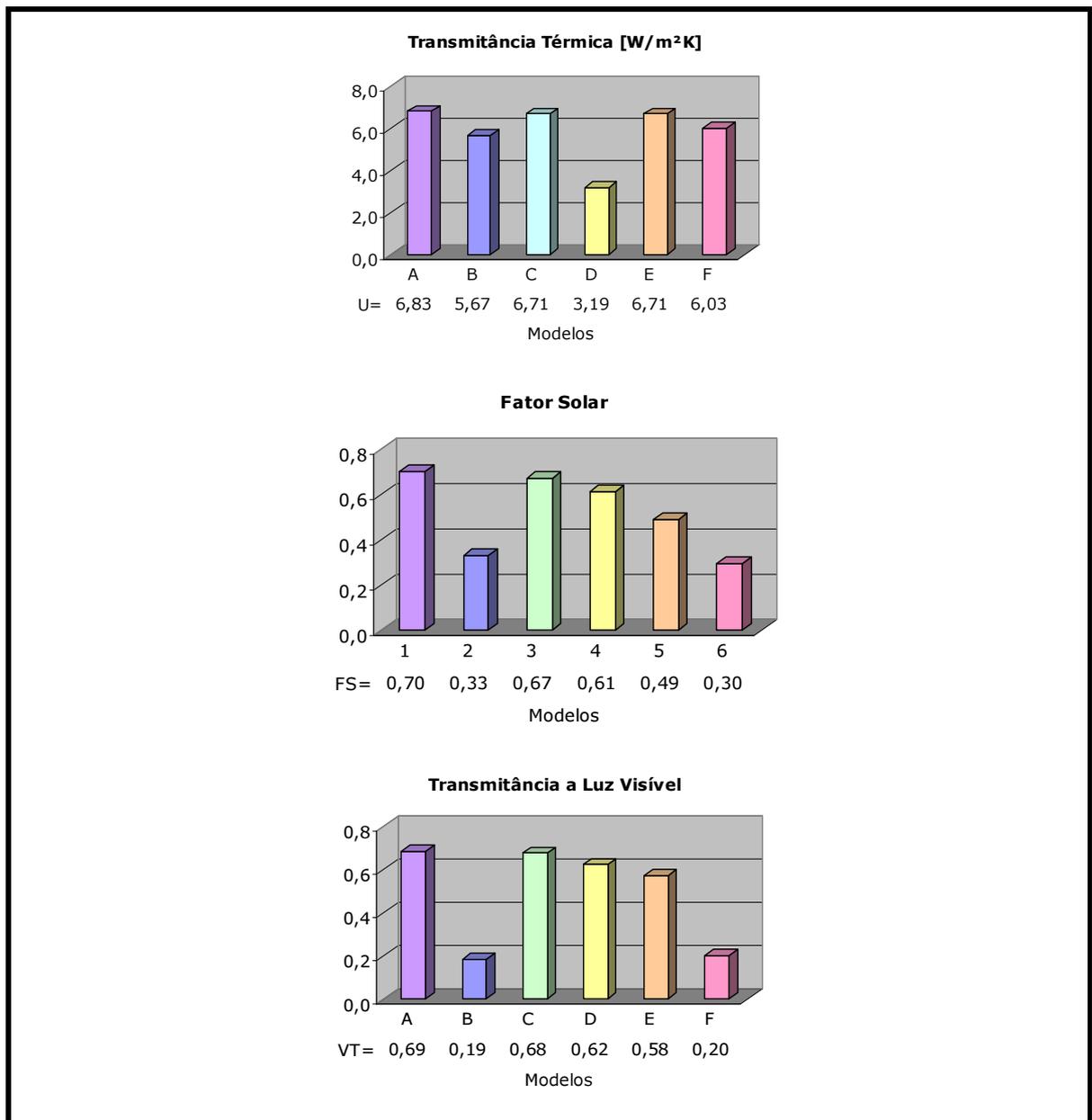


Figura 7. Gráficos com os resultados das propriedades calculadas para os sistemas de aberturas completos

A seguir, os modelos foram então comparados com um caso base, representado pelo Modelo A, utilizando um vidro claro 3mm (mais comumente utilizado na construção civil brasileira).

Abaixo (Figura 8) estão apresentados os exemplos de análise do Ganho de Calor em função do Fator Solar, de cada sistema de abertura completo, supondo uma radiação incidente (G) de 750 W/m^2 perpendicular ao plano de fixação da janela.

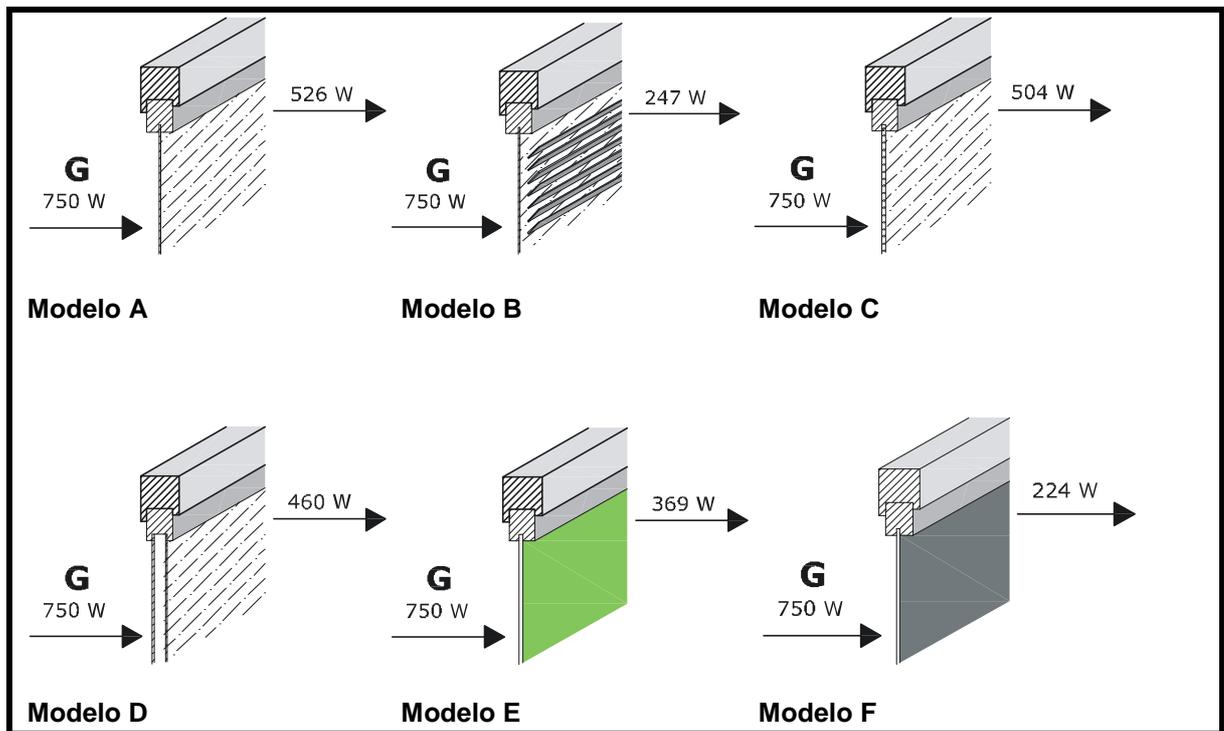


Figura 8. Exemplos de análise do Ganho de Calor em função do Fator Solar.

5.3 Resultados dos sistemas de aberturas completos com proteções solares

Na Tabela 8 (ou através dos gráficos da Figura 9) são apresentadas os resultados da transmitância térmica (U), do fator solar (FS) e da transmissão de luz visível (VT) para os dezessete modelos de sistemas de aberturas completos criados a partir do modelo B da Tabela 8 aplicando proteções solares.

Tabela 8 . Resultados das propriedades calculadas para os sistemas de aberturas completos com proteções solares

<i>Modelo</i>	<i>Descrição</i>	<i>U(W/M²k)</i>	<i>FS</i>	<i>VT</i>
B1	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_16MM_0°	6.005	0.693	0.685
B2	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_16MM_45°	5.660	0.302	0.153
B3	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_16MM_90°	5.361	0.153	0.002
B4	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_25MM_0°	6.030	0.693	0.685
B5	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_25MM_45°	5.671	0.334	0.187
B6	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_25MM_90°	5.362	0.150	0.000
B7	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_50MM_0°	6.030	0.693	0.685
B8	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_50MM_45°	5.671	0.187	0.187
B9	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO_50MM_90°	5.362	0.150	0.000
B10	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE MADEIRA_50MM_0°	5.914	0.785	0.685
B11	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE MADEIRA_50MM_45°	5.627	0.252	0.095
B12	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE MADEIRA_50MM_90°	5.269	0.155	0.000
B13	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS_25MM_0°	2.618	0.610	0.622
B14	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS_25MM_45°	2.480	0.292*	0.171
B15	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PERSIANA HORIZONTAL DE ALUMÍNIO ENTRE VIDROS_25MM_90°	2.275	0.119*	0.000
B16	PVC_VIDRO CLARO 3MM COM PAINEL DE TECIDO CLARO_1500MM_90°	5.428	0.518*	0.000
B17	PVC_VIDRO ESCURO 3MM COM PAINEL DE TECIDO ESCURO_1500MM_90°	5.428	0.519*	0.000

* Valores calculados utilizando o W6 versão: v6 0.30

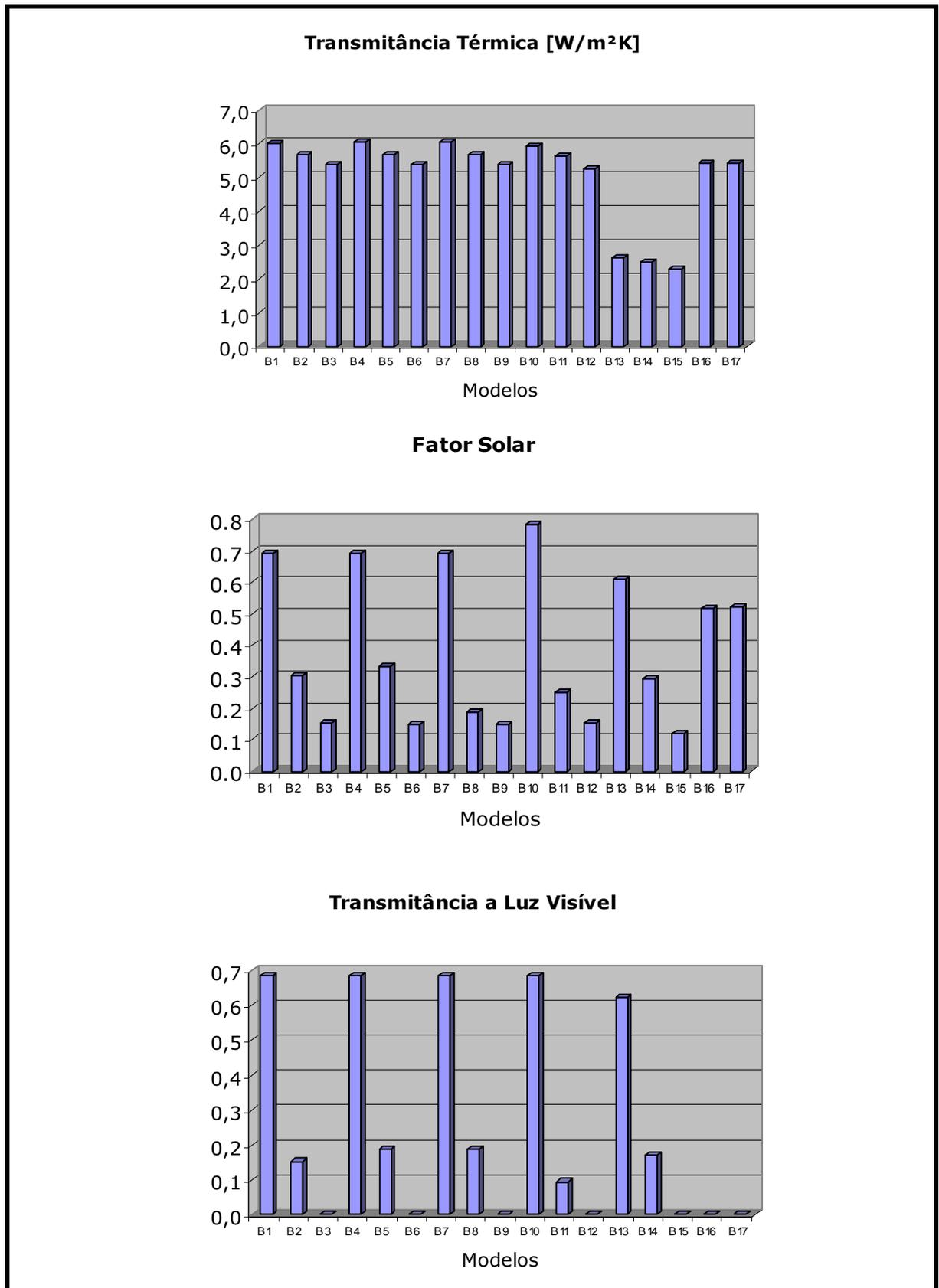


Figura 9. Gráficos com os resultados das propriedades calculadas para os sistemas de aberturas completos com proteções solares

6. CONCLUSÕES

O conhecimento das propriedades térmicas e ópticas de janelas é fundamental para a escolha do produto mais apropriado para cada tipo de aplicação. Isso por sua vez conduz a melhoria das condições de conforto e da eficiência energética do ambiente construído.

No início deste trabalho a intenção era utilizar os dois programas computacionais para cálculo de índices de desempenho energético de janelas, o W6 e o WIS. Porém, optou-se por simular os modelos somente utilizando o programa W6, por este ser um software mais atualizado do que o WIS, com uma atualização periódica por parte dos desenvolvedores do programa. Além de apresentar uma interface mais ágil para a utilização por parte do usuário, e sua base de dados de vidros disponibilizarem de uma maior quantidade de produtos.

O programa se propõe a modelar aberturas sem ou com proteções solares aplicadas interna e externamente. No total foram simulados 22 modelos de aberturas, com variações nos seus componentes.

Entretanto o programa ainda apresenta algumas carências em relação às proteções solares. Suas opções são restritas, o que impossibilitou a simulação de modelos com persianas de lâminas verticais.

Entre os modelos simulados na primeira parte do estudo, os modelos com proteção solar e vidro duplo foram os que apresentaram melhor desempenho em relação à transmitância térmica. Quanto ao Fator Solar, foram os com persiana e vidro reflexivo, porém estes são os que menos permitem a passagem da luz visível para o ambiente.

Os resultados das simulações com proteções solares apresentaram pouca diferenciação em relação à transmitância térmica, exceto no caso de persianas entre vidros. Quanto ao Fator Solar e a Transmissão de Luz Visível, o ponto que mais influenciou nos resultados foi o ângulo de inclinação da lâmina, tendo seus valores diminuídos à medida que aumentava o ângulo de inclinação, ou seja, quanto mais fechada estava a persiana.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de normas Técnicas). NBR 15220-3. **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro. 2005

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals 2005.** Capítulo 31 – Fenestration. Atlanta, GA, USA, 2005.

BEYER, P. O.; SALVADORETTI, J. L. **Influência da Área de Janelas na Avaliação Térmica de Prédios.** In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído 95, 1995, Rio de Janeiro. Anais do Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído 95, 1995.

CARAM, R. M; SICHIERI, E. P; LABAKI, L. C; **Indicativos para emprego apropriado de vidros planos na construção civil, segundo critérios espectrofotométricos.** Anais do III Encontro Nacional / I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Gramado-RS, 1995

CARAM, R. M; LABAKI, L. C; SICHIERI, E. P; **Películas para controle solar: comparação de desempenho entre as refletivas e não refletivas.** Anais do V Encontro Nacional / II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Fortaleza, 1999.

CARMODY, J; SELKOWITZ, S; LEE, E. S; ARASTEH, D; WILLMERT, T; **Residential Windows. A guide to New Technologies and Energy Performance.** W. W. Norton & Company. New York – London, 1996.

CARMODY, J; SELKOWITZ, S; HESCHONG, L; **Window System for High-Performance Buildings.** W. W. Norton & Company. New York – London, 2004.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; MICHELATO, R.; CARAM, R. M. **Desempenho térmico de vidros: avaliação em protótipos.** In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável 10 ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. CLACS ENTAC 04, 2004.

CASTRO, A. P. A. S.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M. **Avaliação do desempenho térmico e ganho de calor solar de três tipos de vidros.** In: ENCAC - ELACAC 2005 - VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. Anais do ENCAC - ELACAC 2005 - VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió : ANTAC, 2005

CORATO, L.L.; NAKANISHI, T.; CARAM R. M. **Inovações tecnológicas em fachadas transparentes a partir da década de 70.** In: VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro, SP. Anais do VI ENCAC 2001, 2001.

DIJK, V. D.; GOULDING, J. **WIS, Reference Manual,** TNO Building and construction Research. The Netherlands, September, 2002.

DUER, K; SVENDSEN, S; MOGENSEN, M. M; LAUSTSEN, J. B. **Energy Labelling of Glazings and Windows in Denmark: Calculated and Measured Values.** Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby. 2002

DUTRA, L; LAMBERTS, R; PEREIRA, F. O. R. **Determinação do fator solar desejável em aberta.** Brasil - Porto Alegre, RS. 1995. P. 359-364. In: Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído 3º e 1º, Gramado, 1995.

GILIO, R. C; PERÉN, J. I; CARAM, R. M; **Reflexão da radiação solar em vidros e películas refletivas.** Anais do VI Encontro Nacional / III Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). São Pedro – SP, 2001.

GRILLO, J. C. S.; AMORIM, C. N. D. **Janela na Edificação: normas e indicações para projeto.** In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável 10 ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. CLACS ENTAC 04, 2004.

LABAKI, L. C; CARAM, R. M; **Os vidros e o Conforto Ambiental.** Anais do III Encontro Nacional / I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Gramado-RS, 1995

LABAKI, L. C; SICHIERI, E. P; CARAM, R. M; **Estudo comparativo entre os vidros refletivos metalizados à vácuo e os pirolíticos, quando submetidos à radiação solar.** In: Encontro Nacional no Ambiente Construído. Salvador, 1997.

LABAKI, L. C.; CARAM R. M.; SICHIERI, E. P. **Uso de policarbonatos em fachadas: Isolamento e efeito estufa.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. Anais do V ENCAC, 1999.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F.O. R; **Eficiência Energética na Arquitetura.** PW Editores. São Paulo, 1997.

LBNL. Lawrence Berkeley National Laboratory. **WINDOW 5.0. User Manual** LBNL- 44789, November 2001. Website: windows.lbl.gov

McCLUNEY, R. **The Death of the Shading Coefficient?** ASHRAE Journal, March/91, p. 36-45, 1991.

MACEDO, C. C. e PEREIRA, F. O. R. **Radiômetro de abertura: dispositivo para a caracterização térmica de sistemas de iluminação natural.** Anais do VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (ENCAC-COTEDI). Curitiba-PR, 2003.

MARINOSKI, D. L. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas,** Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2005, 124 pp.

MARINOSKI, D. L; GUTHS, S; PEREIRA, F. O. R; LAMBERTS, R. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas.** ENCAC'05 - Anais do VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, AL, Brasil, 2005.

NETO, A. H.; TRIBESS A.; VITTORINO, F.; CARAM, R. M. **Avaliação da viabilidade econômica de soluções de envidraçamento.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza, CE. Anais do V ENCAC, 1999.

NFRC. **National Fenestration Rating Council.** USA, 2005. Homepage: <<http://www.nfrc.org>>.

NICOLAU, V. P.; MALUF, F. P.; **Determination of radiative properties of commercial glass.** In: The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA). Florianópolis – SC, 2001.

PEREIRA, F. O. R. **Assimetria do campo de radiação interno induzida por superfícies envidraçadas em edificações.** Tese de dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1984.

PEREIRA, F. O. R. e SHARPLES, S. **The development of a device for measuring the solar heat gain and shading coefficients of windows in scale models.** Energy and Buildings v.17, p. 271-281, 1991.

PEREIRA, F. O. R. **Desenvolvimento de um aparato experimental para medição do ganho de calor solar de sistemas de aberturas complexas em modelos reduzidos.** In: ENTAC'93, SAO PAULO, SP, 1993.

PEREIRA, F. O. R. **Uma experiência com a caracterização do comportamento radiante de aberturas.** Anais do III Encontro Nacional / I Encontro Latino- Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Gramado – RS, 1995.

SANTOS, J. C. P; CARAM R. M; SICHIERI, E. P; LABAKI, L. C. **Analysis of the correct use of solar heat gain factor and shading coefficient for different types of glass windows.** In: 18th International Conference on Passive and low nergy Architecture, 2001, Florianópolis, SC. Proceedings of PLEA 2001, 2001.

SANTOS, J. C. P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** Tese de Doutorado. Ciência de Engenharia dos Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

SANTOS, J. C. P; CARAM R. M; RORIZ, M. **Procedimento prático para cálculo de ganho de calor solar através de materiais transparentes.** Anais do VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (ENCAC-COTEDI). Curitiba-PR, 2003a.

SANTOS, J. C. P; SICHIERI, E. P. CARAM, R. M. RORIZ, M. **Determination of Reference Transparent Materials for Solar Heat Gains Calculation.** In: 20th International Conference on Passive and Low Energy Architecture., 2003, Santiago. Proceedin of PLEA 2003, 2003b.

SANTOS, J. C. P; LÜBECK A; HEDLUND, F. A. **Análise comparativa de características de materiais transparentes de mesma coloração.** I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (claCS-ENTAC). São Paulo-SP, 2004.

SAYEGH **Força domada: quilowatts de economia.** Revista Técnica. V53, pp 56-65. Pini. 2001

SICHIERI, E. P; CARAM, R. M; PAWLICKA, A; AVELLANEDA, C; **Análise sobre a potencialidade do uso de janelas eletrocromicas obtidas a partir de filmes de NB205 e WO3, para controle energético de edificações.** Anais do V Encontro Nacional de Conforto /II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Fortaleza, 1999.

WIS. Advanced Window Information System. **WIS help.** Version 3.01 (2003).
Website: www.windat.org

8. ANEXOS

Definições de algumas das propriedades apresentadas nos softwares:

- U-value ou U-factor: Transmitância térmica total da janela. (W/(m²K))
- VT: Transmitância de luz visível.
- SHGC ou Solar factor ou g-value: Fator solar. Quociente de energia solar transmitida e absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (FS).
- Thermal Conductivity: Condutividade térmica. (λ) Quociente do fluxo de calor pelo gradiente de temperatura. (W/(mK))
- f-value: Fator de temperatura. A propriedade que descreve o risco de condensação de um sistema de janelas. O *f-value* de um sistema de janelas é o valor mínimo de um *f-value* da parte central do sistema, a esquadria e a área de borda onde esquadria e sistema transparente se encontram.