



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

**ENTAC 2010**

XIII Encontro Nacional de Tecnologia  
do Ambiente Construído

## **A PRECISÃO DAS FERRAMENTAS INFORMATIZADAS DE MODELAGEM 3D NA REPRESENTAÇÃO DA SOMBRA PROJETADA EM MODELOS VIRTUAIS**

**Aristóteles Cordeiro (1); Solange Leder (2); Alexandre Castro(3)**

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, Brasil – e-mail: [aristotelescordeiro@gmail.com](mailto:aristotelescordeiro@gmail.com)

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, Brasil – e-mail: [solangeleder@ct.ufpb.br](mailto:solangeleder@ct.ufpb.br)

(3) Curso de Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, Brasil – e-mail: [alexbccastro@hotmail.com.br](mailto:alexbccastro@hotmail.com.br)

### **RESUMO**

Nos climas quentes, o sombreamento adequado da edificação é uma das estratégias de maior impacto na obtenção de conforto térmico e na redução do consumo de energia. As ferramentas digitais de modelagem 3D proporcionam não só a representação das sombras projetadas como a interação, em tempo real, com as características volumétricas da edificação, permitindo avaliar a eficácia de elementos de proteção solar. Este trabalho relata uma experiência prática destinada a medir a confiabilidade dos programas AutoCAD e Sketchup na representação da sombra resultante da trajetória solar. A atividade consiste na comparação da sombra projetada em uma maquete física exposta à insolação com os resultados obtidos de modelos virtuais. O sombreamento na maquete física foi registrado com fotografias, os dados da localização geográfica e orientação da maquete e a data e hora das medições foram reproduzidas na maquete eletrônica. Com os resultados se verifica que a maquete eletrônica apresenta resultados similares à sombra projetada com a maquete física. Pequenas diferenças foram verificadas, atribuídas principalmente à dificuldade em produzir, orientar e nivelar o modelo real de forma absolutamente precisa. Sobre o processo de inserção de dados para a configuração do modelo virtual foi verificada a probabilidade de pequenos erros, que podem resultar em sombras completamente distorcidas da realidade. Considerando a inserção correta dos dados na construção do modelo virtual, pode-se afirmar que as ferramentas computacionais analisadas, Autocad e Sketchup, são confiáveis na reprodução da sombra.

Palavras-chave: insolação, sombreamento, simulação computacional.

## **1 INTRODUÇÃO**

O sol é a principal fonte de energia na terra e, em grande parte, responsável pelas diferenças climáticas. Em climas quentes a radiação solar é invariavelmente indesejada e o controle do ambiente construído sobre a mesma é uma estratégia permanente para a manutenção do conforto. Em oposição, nos climas frios a radiação solar é desejada e sua captação uma necessidade.

Sendo assim, o projeto de arquitetura deve ser concebido tendo a insolação como condicionante. Para estudo da insolação as ferramentas de apoio são: os métodos gráficos - como a carta solar e métodos de estudos de sombra (BITENCOURT, 2004; OLGYAY, 1963), os modelos em escala reduzida - com céu real, relógio de sol ou simuladores da trajetória solar (RIVERO, 1986; CHEUNG, 2000) e os modelos digitais construídos em programas específicos - Ecotect, ou outros de ampla aplicação, como o Autocad.

Sabe-se, contudo, que as ferramentas computacionais tem sido amplamente utilizadas em arquitetura, não somente para a representação do projeto, mas como ferramenta de auxílio às decisões projetuais (CARVALHO, DANTAS & MEDEIROS, 2005; MENEGOTTO & ARAÚJO, 2000). Dentre as mais utilizadas, por alunos e profissionais de arquitetura no Brasil, destacam-se o Autocad e SketchUp, que também oferecem a possibilidade de estudos da insolação e sombreamento.

Nesse contexto, este trabalho relata uma experiência prática destinada a auferir a precisão dos programas AutoCAD e Sketchup na representação das sombras projetadas pelo sol. Ainda que houvesse indícios que a representação do sombreamento nestes programas é semelhante à sombra real, havia dúvidas sobre a entrada e saída de dados, como por exemplo: a hora utilizada como referência pelo programa seria a hora civil ou hora solar? Os indícios que a representação da sombra por estas ferramentas de modelagem geométrica 3D seriam precisas vinham dos resultados de uma experiência semelhante que comparou a projeção horizontal das sombras geradas por várias destas ferramentas, entre elas o AutoCAD, com a obtida através da aplicação do gráfico solar em desenho de Geometria Descritiva (ROCHA & AMORIM, 2003), e da relativa difusão do conjunto de equações de trigonometria esférica utilizados para calcular os ângulos de incidência dos raios solares sobre a superfície de determinada posição na terra.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é verificar a confiabilidade dos programas computacionais Autocad e SketchUp na representação das sombras projetadas pelo sol, tendo como base um modelo real. Este trabalho também tem o objetivo de auxiliar alunos e projetistas nas principais etapas de configuração do modelo virtual.

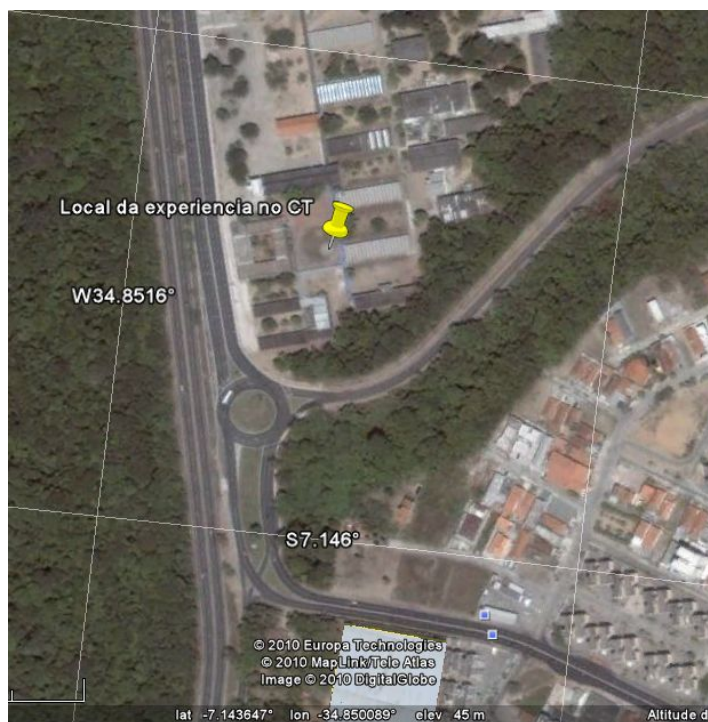
## **3 METODOLOGIA**

A experiência consistiu em submeter um modelo físico à insolação, realizar registro fotográfico e reproduzir a mesma situação nos programas AutoCAD e Sketchup, comparando as sombras projetadas nestes programas com as sombras reais. A etapa de entrada de dados, na formatação do modelo virtual, também se constitui em um dos objetivos desse trabalho, verificando a possibilidade de erros.

Para o modelo físico foi utilizado um paralelepípedo de madeira com dimensões de 10 x 10 x 6 cm apoiado sobre uma base plana revestida com papel milimetrado. Orientamos um dos eixos do papel milimetrado para o norte magnético utilizando para tanto uma bússola calibrada própria para levantamentos planimétricos. A diferença entre a orientação do norte magnético e do norte verdadeiro, a declinação magnética, foi obtida através de consulta a tabela publicada pelo observatório nacional e disponível na internet ([www.on.br](http://www.on.br)). Para a cidade de João Pessoa e nos dias da experiência a declinação era de 21,58 graus.

As coordenadas geográficas da experiência - o pátio interno do Centro de Tecnologia - foram obtidas inicialmente com o auxílio de um aparelho GPS GARMIM, com precisão informada de 3 metros.

Posteriormente verificamos que poderíamos obter estas mesmas coordenadas com o programa Google Earth, bastando posicionar o cursor sobre o local da experiência como mostra a Figura 1. Observando a figura 1 pode-se verificar que o programa está configurado para mostrar as coordenadas em graus decimais ao invés de graus minutos e segundos. Isto facilita a entrada dos dados no AutoCAD e no Sketchup que utilizam este formato para a determinação das coordenadas geográficas.



**Figura 1** – Imagem do local da experiência no Campus da UFPB obtida com o Google Earth

As sombras reais sobre o modelo físico foram registradas em três ocasiões: 24 de setembro de 2009 às 10h00; 04 de novembro de 2009 às 09h32 e 20 de abril de 2010 às 9h42.

Para cada registro foram criados arquivos digitais do AutoCAD 2008 e do Sketchup 5.0 contendo um modelo geométrico 3D do paralelepípedo com as mesmas dimensões, posição e orientação do modelo físico. Estes modelos virtuais foram submetidos à insolação nos mesmos dias e horas dos registros reais fornecendo imagens com o sombreamento que podem ser comparadas com as fotografias. A inserção das variáveis do modelo – localização, orientação, data e hora – estão detalhadas a seguir em conjunto com os resultados deste trabalho.

### **3.1 Inserção de dados nos programas Autocad e SketchUp**

Na construção do modelo virtual a fidelidade das informações sobre a localização geográfica, a orientação da edificação e o fuso horário do local deve ser rigorosa, pequenos erros podem resultar em resultados muito distantes da realidade.

Para ajustar os programas modeladores 3D Sketchup e AutoCAD de forma a representar fielmente a sombra gerada pela luz do sol sobre um modelo e para uma determinada localidade são necessários três dados, a saber: A localização geográfica, a orientação e a hora.

#### **3.1.1 Localização geográfica**

A localização geográfica deve ser fornecida aos programas no formato de graus e décimos de graus. A maneira mais fácil de obter a localização já neste formato é através do programa gratuito Google Earth. Escolha, no menu principal, a opção Ferramentas -> Opções. Marque Graus decimais na caixa

Mostrar Lat/Long e clique em Aplicar. Basta agora apontar o cursor para a posição desejada na superfície do globo terrestre que as coordenadas geográficas – latitude e longitude - são apresentadas no formato de graus decimais.

Se as coordenadas geográficas só estiverem disponíveis no formato de graus, minutos e segundos, elas podem ser facilmente convertidas para graus decimais. Basta transformar a parte fracionada em segundos e aplicar uma regra de três como no exemplo a seguir. Para 7° 8' 37" convertemos os minutos em segundos ( $8 \times 60 = 480$  segundos), somamos com os segundos remanescentes ( $480 + 37 = 517$ ) e aplicamos a regra de três; 3600 segundos estão para 100 % assim como 517 estão para x. Basta lembrar que 3600 segundos correspondem a um grau.

### 3.1.2 Orientação solar

A orientação do lote ou da edificação pode ser obtida no local através de uma bússola – o norte magnético – ou então retirada de uma carta, mapa ou do Google Earth. Nestes casos a orientação tem como referência o norte verdadeiro. O Sketchup e o AutoCAD utilizam como referencia o norte verdadeiro assim que, se a orientação foi obtida com uma bússola, é necessário saber a declinação magnética do local para se obter a orientação para o norte verdadeiro. Este valor é variável com o tempo e pode ser obtido através de consulta a uma tabela publicada pelo Observatório Nacional e disponível na internet. Em João Pessoa, por exemplo, a declinação varia em torno de 21.8 graus em 2009.

Em ambos os programas, Autocad e Sketchup, a orientação Norte padrão está direcionada para cima, ou seja para o topo da tela. Essa orientação pode ser modificada pelo usuário através de duas formas: girando o modelo ou informando uma nova orientação para o Norte.

### 3.1.3 Hora

A hora utilizada pelos programas Autocad e SketchUP é a hora legal. A hora legal é baseada no movimento do Sol Médio, mas obedece a conveniências geopolíticas e varia continuamente com a longitude. A hora oficial de Brasília é válida para a maioria do território nacional e tem três horas a menos que a hora do meridiano de referência - Greenwich na Inglaterra, assim que o nosso fuso horário é GMT – 3.

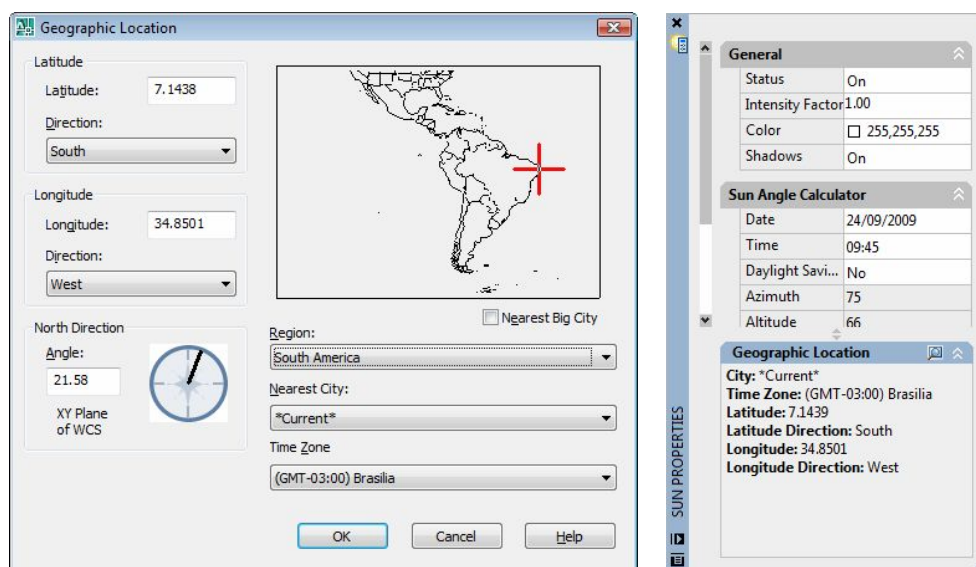
É importante destacar que a hora solar pode se tornar bastante diferente em relação à hora legal, dependendo da longitude do local. Estudos precisos de insolação devem considerar essas diferenças.

## 3.2 Configuração do modelo no programa AutoCAD 2008

Para o ajuste de coordenadas de uma dada localidade no AutoCAD 2008 deve-se digitar GEOGRAPHICLOCATION na linha de comandos. Isto aciona um quadro de diálogo como o mostrado na Figura 2, onde é possível informar a latitude e a longitude da localidade em graus decimais. Atenção deve ser tomada na indicação do hemisfério da latitude (Norte ou Sul) e do sentido em relação ao paralelo de Greenwich (Oeste ou Leste). No exemplo, foram empregadas as coordenadas geográficas do local da experiência em João Pessoa, Paraíba. Como o modelo foi orientado para o Norte magnético, utilizamos este quadro para ajustar a declinação magnética de João Pessoa, 21.58 graus no item North Direction, e o fuso horário de Brasília, GMT-3 no item Time Zone.

Para a determinação do dia e da hora, onde se quer simular o sombreamento, deve-se digitar SUNPROPERTIES na linha de comandos. No item General ajusta-se se a sombra e o sol estão ativos, a cor e intensidade. No item seguinte, Sun Angle Calculator, ajusta-se o dia, hora e horário de verão (Daylight Savings).

Com estes ajustes basta posicionar o modelo na vista adequada e emitir o comando RENDER, obtendo assim imagens texturizadas com a representação da sombra similar às imagens apresentadas neste artigo.

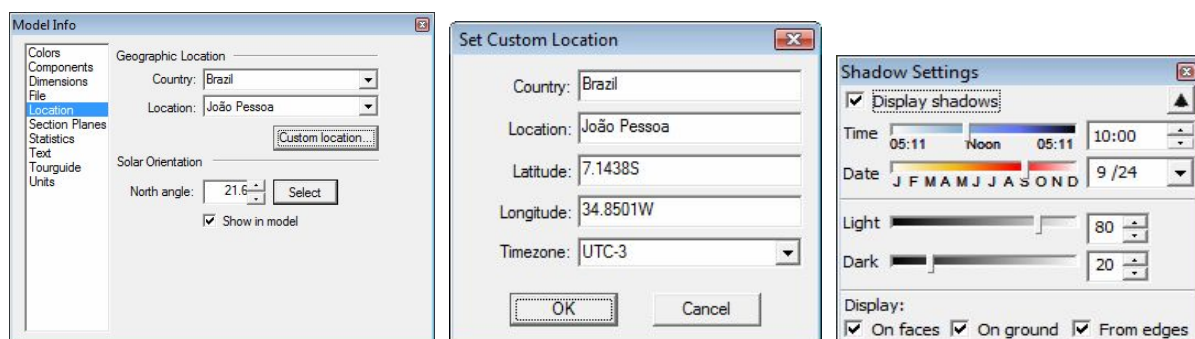


**Figura 2** – Quadros do Autocad para a inserção das coordenadas geográficas, data e hora

### 3.3 Configuração do modelo no programa Sketchup 5.0

No Sketchup 5.0 a determinação da localização geográfica é feita acionando-se, no menu principal, Windows -> Model Info. No quadro Model Info é necessário escolher a opção Location, ver figura 3. Esta opção permite determinar a localização geográfica do modelo de duas formas: através da seleção de uma determinada cidade, em uma lista de cidades oferecida pelo programa, ou então determinar uma localização geográfica específica acionando o botão Custom Location. Em um novo quadro de diálogo – Set Custom Location – é possível informar as coordenadas exatas do local da experiência. Atenção deve ser tomada na indicação do hemisfério da latitude (Norte ou Sul) e do sentido em relação ao paralelo de Greenwich (Oeste ou Leste). As coordenadas devem ser em graus decimais e o fuso horário (timezone) também deve ser determinado.

A etapa seguinte, no quadro Model Info, é ajustar a orientação geográfica do modelo virtual. Com a opção Select é possível a determinara a direção do norte de forma interativa com o modelo. No item North angle pode ser informada a declinação magnética do local da experiência, caso o modelo esteja orientado para o Norte magnético.



**Figura 3** – Quadros do Sketchup para a inserção das coordenadas geográficas, data e hora

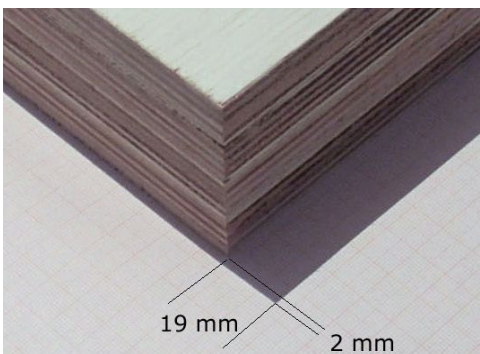
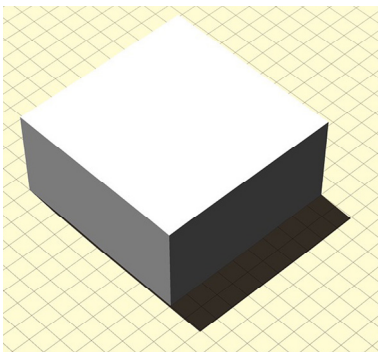
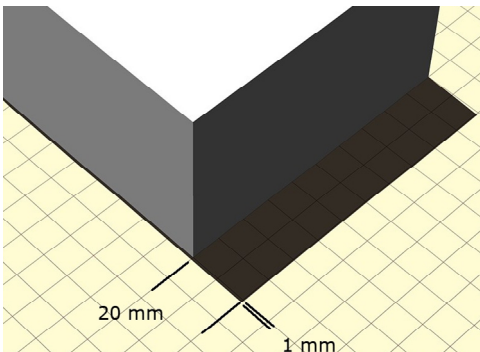
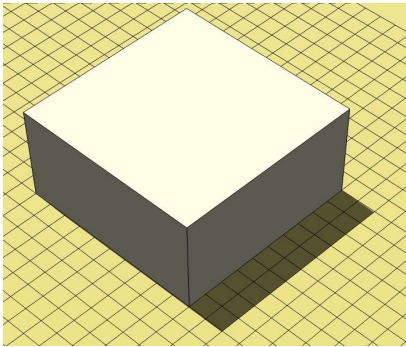
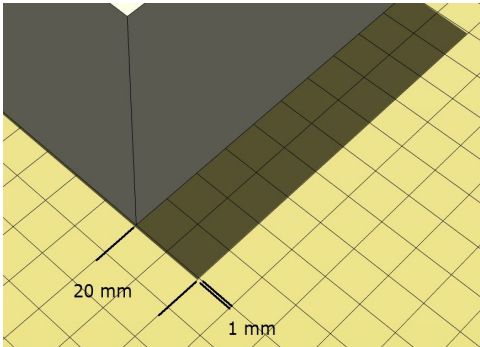
Na opção Windows > Display Shadows, no menu suspenso, tem-se o quadro de diálogo Shadow Settings que permite o ajuste do dia e hora da insolação, assim como o acionamento do modo de representação das sombras. Selecionando a opção display shadows a representação da sombra é em

tempo real, ou seja, a sombra resultante do ajuste de data e hora aparece imediatamente na tela. A seleção da data segue o padrão mês/dia. Os itens Light e Dark referem-se ao contraste desejado para a sombra. Na opção On faces a sombra aparece no objeto, na opção On ground a sombra é representada no piso e com o item From edges selecionado a sombra de linhas (contorno) também é representada.

#### 4. RESULTADOS

As imagens do modelo real foram comparadas com as imagens geradas com os programas em análise: Autocad e Sketchup. Os resultados da experiência prática estão apresentados nas tabelas a seguir. Na tabela 1 estão apresentadas as imagens obtidas para o dia 24 de setembro de 2009 às 10:00 h, a tabela 2 as imagens para o dia 04 de novembro de 2009 às 09:32 h e na tabela 3 o dia 20 de abril de 2010 às 09:42. As tabelas apresentam a imagem do objeto e a respectiva sombra seguida pelo detalhamento da sombra, com as medidas observadas sobre o fundo milimetrado. Ainda que as imagens possam ser entendidas como idênticas, pequenas diferenças na dimensão da sombra foram observadas.

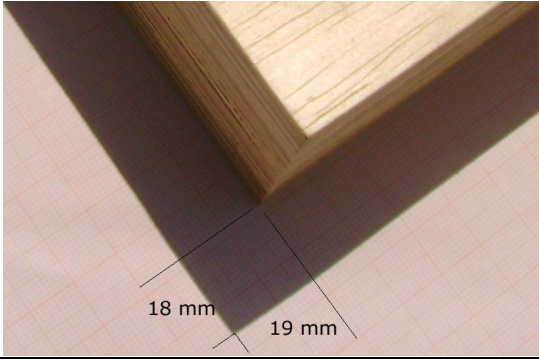
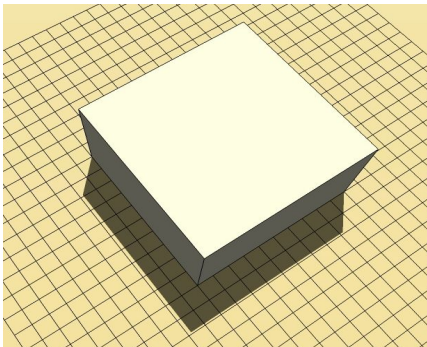
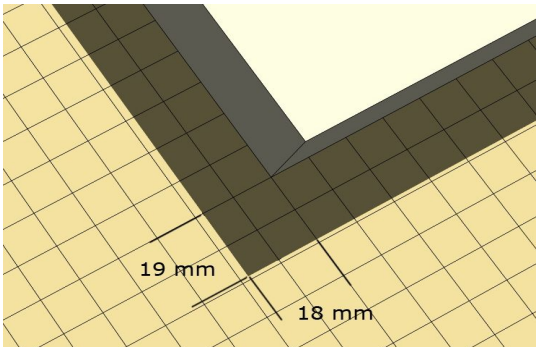
**Tabela 1** – Dia 24 de setembro de 2009 às 10:00 h - modelo real e modelos virtuais

|                  |                                                                                     |                                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo em escala |   |   |
| Autocad 2008     |  |  |
| Sketchup 5.0     |  |  |

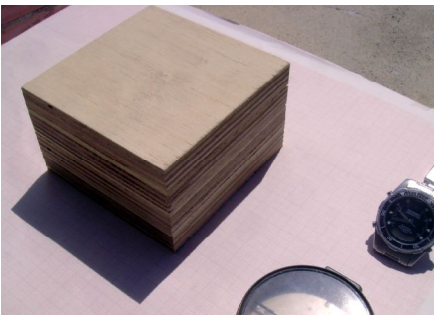
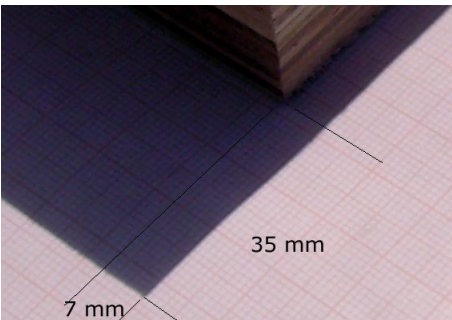
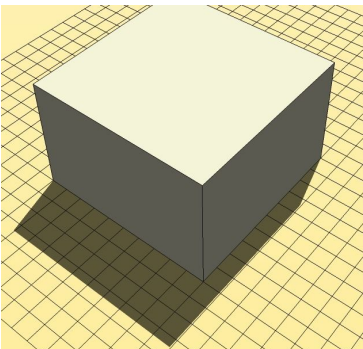
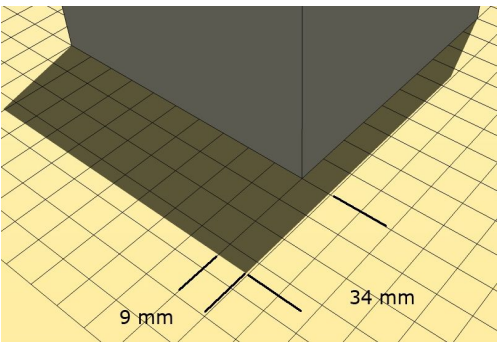
Os programas Autocad 2008 e Sketchup 5, quando configurados com os mesmos dados de posição, orientação e fuso horário, produzem sombreamentos idênticos. Contudo, a versão Autocad 2008 apresenta uma imposição na simulação dos horários, que obedecem intervalos de 15 minutos, a partir

da hora cheia. Desta forma a imagem do sombreamento do AutoCAD para o dia 04 de novembro de 2009 foi gerada para as 9h30 quando a medição foi as 9h32 e para o dia 20 de abril de 2010 foi gerada as 9h45 quando a medição foi as 9h42. Sabendo que os programas produzem resultados idênticos, quando configurados para a mesma hora, as medições do tamanho da sombra nos modelos virtuais, apresentadas nas tabelas 2 e 3 foram feitas apenas nas imagens obtidas com o Sketchup.

**Tabela 2 – Dia 04 de novembro de 2009 às 09:32 h - Modelo real e modelos virtuais**

|                                  |                                                                                    |                                                                                     |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modelo em escala reduzida</b> |   |   |
| <b>Sketchup 5.0</b>              |  |  |

**Tabela 3 – Dia 20 de abril de 2010 às 09:42 - Modelo real e modelos virtuais**

|                                  |                                                                                     |                                                                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modelo em escala reduzida</b> |  |  |
| <b>Sketchup 5.0</b>              |  |  |

As diferenças encontradas na comparação entre as imagens com o modelo real e as imagens geradas com os programas Autocad e Sketchup estão resumidas no quadro da Tabela 4. As diferenças são de -1, +1 e +2 mm. Considerando a altura do modelo de 60 mm, a diferença de um milímetro corresponde a uma diferença angular de menos de um grau e a diferença de 2 mm corresponde a uma diferença angular de um grau e meio aproximadamente.

Podemos atribuir as diferenças encontradas à diversos fatores, todos derivados da dificuldade em produzir e orientar o modelo real de forma absolutamente precisa. Para a orientação do modelo real utilizou-se de uma bússola aferida com marcação a cada grau, o que estabelece, desde o início, a tolerância de um grau para a orientação. Outra dificuldade foi o nivelamento do modelo, de forma que a superfície com o papel milimetrado estivesse perfeitamente na horizontal. Um caimento de um por cento (1%) no plano horizontal, difícil de ser detectado com níveis de bolha, pode explicar uma parte das diferenças. Por último a própria dificuldade em produzir um paralelepípedo de madeira com precisão dimensional absoluta. A altura considerada de 60 mm do paralelepípedo utilizado na experiência revelou variar de 60,23 mm a 61,03 mm quando utilizado um paquímetro digital para tomar as alturas nos quatro vértices.

**Tabela 4** – Quadro com as diferenças observadas entre os modelos real e virtuais

| Dia e Hora                      | Sombra Real | Sombra Virtual | Diferença |
|---------------------------------|-------------|----------------|-----------|
| 24 de setembro de 2009 as 10h00 | 2 mm Norte  | 1 mm Norte     | - 1       |
|                                 | 7 mm Oeste  | 8 mm Oeste     | + 1       |
| 04 de novembro de 2009 as 09h32 | 19 mm Norte | 18 mm Norte    | - 1       |
|                                 | 18 mm Oeste | 19 mm Oeste    | + 1       |
| 20 de abril de 2010 as 9h42     | 7 mm Sul    | 9 mm Sul       | + 2       |
|                                 | 35 mm Oeste | 34 mm Oeste    | - 1       |

Em resumo, as diferenças entre as dimensões da sombra obtida diretamente com a insolação com a sombra calculada pelos programas estão dentro da tolerância dimensional das condições de realização da experiência. Para se ter uma idéia do impacto destes valores em uma situação real basta considerar que em uma edificação com seis metros de altura esta diferença seria de apenas dez centímetros. Na análise sobre os procedimentos de formatação do modelo nos programas as principais observações foram:

Um erro de fácil ocorrência, nas tentativas de representar as sombras projetadas em modelos virtuais de edifícios, é a informação inadequada do fuso horário da localidade, a hora civil. Em alguns casos as sombras não são representadas quando a hora civil adotada coloca o sol em uma posição abaixo da linha do horizonte.

Outro erro, que pode ser muito freqüente, refere-se às coordenadas geográficas, que devem estar no formato de graus decimais, caso essa informação tenha sido no formato de grau, minutos e segundos ou então não haja a conversão adequada do formato grau, minutos e segundos para o formato de grau decimal, as sombras representadas estarão com erro. Uma solução fácil para este problema é colocar o Google Earth neste formato.

Também se deve atentar para a forma como é obtida a orientação da edificação. Quando esta orientação é obtida através de consulta a mapas ou cartas ela geralmente indica o norte verdadeiro. Quando obtidas no local com uma bússola o norte indicado é o magnético. Nestes casos é necessário conhecer a declividade e corrigir a orientação do modelo para o norte verdadeiro.

## 4 CONCLUSÕES

Com os resultados se verifica que a maquete eletrônica apresenta resultados quase idênticos à sombra projetada com a maquete física e de acordo com a hora civil. Pequenas diferenças foram verificadas, atribuídas principalmente à dificuldade em produzir, orientar e nivelar o modelo real de forma absolutamente precisa. Considerando a inserção correta dos dados na construção do modelo virtual, pode-se afirmar que as ferramentas computacionais analisadas, Autocad e Sketchup, são confiáveis na reprodução da sombra.

Destaca-se que os recursos de interação que oferecem estes programas ao representar, em tempo real, as mudanças na sombra projetada à medida que se altera a forma do modelo do edifício, possibilita ao projetista um amplo leque de possibilidades de experimentação formal na utilização da luz e da sombra. Cabe alertar, entretanto, que estas representações virtuais serão fieis à medida que as informações sobre a localização geográfica, a orientação da edificação e o fuso horário da cidade onde está o terreno sejam corretamente obtidas e inseridas nos programas.

## 5 REFERÊNCIAS

CARVALHO, G. L. de; DANTAS, N.; MEDEIROS, C. F. de Um experimento cognitivo: mídia tradicional x mídia digital na fase de concepção de projeto arquitetônico. **In:** Projetar, Rio de Janeiro, 2005.

CHEUNG, K. P. A discussion of heliodons for professional design and for teaching. **In:** International Conference for Teachers of Architecture, Oxford, 2000.

MENEGOTTO, J. L.; ARAÚJO, T. C. M. de. **O desenho digital: técnica & arte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1963.

ROCHA, M. M. B.; AMORIM, A. L. Validação da sombra projetada através de ferramentas CAD: Uma contribuição metodológica. **In:** Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico. Santa Cruz do Sul, 2003.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D. C. Luzzato Editores. 1986.