



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DE SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS DE EDIFICAÇÕES SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ENTRADA DAS PROPRIEDADES DOS VIDROS

**SORGATO, Marcio José (1); MELO, Ana Paula (2);  
MARINOSKI, Deivis Luis (3); LAMBERTS, Roberto (4)**

(1) [marciosorgato@labeee.ufsc.br](mailto:marciosorgato@labeee.ufsc.br); (2) [apaula\\_melo@labeee.ufsc.br](mailto:apaula_melo@labeee.ufsc.br);  
(3) [deivis.marinoski@ufsc.br](mailto:deivis.marinoski@ufsc.br); (4) [roberto.lamberts@ufsc.br](mailto:roberto.lamberts@ufsc.br)

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
CTC/ECV/NPC/LabEEE, Caixa Postal 476 – CEP 88040-970

### RESUMO

Este estudo tem por objetivo comparar os resultados obtidos através de duas condições de entrada de acordo com o tipo de vidro adotado no programa EnergyPlus: método simplificado e método detalhado. A investigação contemplou a análise de uma habitação por simulação computacional, para o clima de São Paulo e São Luís. O método simplificado permite inserir apenas três propriedades básicas do vidro: transmitância térmica, o fator solar e a transmissão visível. Já o método detalhado, possibilita a inclusão de características adicionais do vidro, tais como: transmissão direta da radiação, reflexão nas faces interna e externa, emissividade e condutividade. O estudo compara o desempenho de cinco opções de vidro: incolor, incolor laminado, verde laminado, duplo verde *low-e* e duplo controle solar prata. Com base nos resultados, pode-se concluir que em todos os casos analisados (incluindo a avaliação por orientação) a entrada de dados dos vidros através do método simplificado modifica significativamente os resultados das simulações. Como principal alerta, destaca-se que a entrada de dados pelo processo simplificado para vidros de alto desempenho conduz a resultados de consumo mais baixos do que o método detalhado (subestimados).

**Palavras-chave:** Simulação computacional, programa Energyplus, propriedades dos vidros.

### ABSTRACT

*This study aims to compare the results from two different conditions to insert the glazing properties into the EnergyPlus program: simplified method and detailed method. The investigation was performed by means of a computer simulation analysis of a dwelling, for São Paulo e São Luís climate. The simplified method allows to inserts just three basic glazing properties: thermal transmittance, solar factor and visible transmittance. The detailed method allows inserting more characteristics such as solar transmittance, front and back side visible reflectance at normal Incidence, emissivity and conductivity. The study compares the performance of five glass: colourless, colourless laminate, green laminate, double green low-e and solar control double silver. Based on these results, one can conclude that the simplified method significantly modifies the simulation results. It is important to mention that for high performance glazing the simplified method showed lower results of energy consumption than the detailed method.*

**Keywords:** Computer simulation, EnergyPlus program, glazing properties.

## 1 INTRODUÇÃO

As aberturas nas edificações exercem funções tais como regular a passagem da luz e a ventilação. Também é reconhecida a sua influência psicológica ao promover a satisfação e a produtividade para os ocupantes (CARMODY *et al.*, 2004). Estes elementos podem ocupar desde uma pequena fração da área da fachada ou até mesmo chegar a compor grandes paredes envidraçadas, constituindo a maior parte do envelope construtivo.

É possível até mesmo vincular diretamente as janelas e outros tipos de aberturas ao uso e custos com energia elétrica. Por exemplo, Li e Lam (2000) por meio de estudos e simulações energéticas de edifícios comerciais na cidade de Hong Kong, mostraram que o consumo de energia com ar condicionado está entre 50% e 60% do uso total de energia elétrica. Neste caso o ganho de calor solar, principalmente por aberturas, foi o maior responsável pela carga de resfriamento. Outros estudos indicam que é de fundamental importância o conhecimento das variáveis e das propriedades dos materiais que influenciam no desempenho termoenergético das janelas. Algumas destas variáveis são: a porcentagem de área de janela na fachada (WWR), o fator solar (SHGC), e as propriedades óticas e térmicas dos vidros (IHM *et al.*, 2012; LEE *et al.*, 2013). Este tipo de informação, associada à simulação computacional e outros processos de análise, possibilita a elaboração de projetos de edificações mais eficientes energeticamente.

Em função da variedade de produtos vítreos (que na maioria dos casos são os elementos predominantes na área de abertura) uma escolha adequada visando à eficiência energética depende em grande parte do conhecimento das suas propriedades. Atualmente, existem uma base de dados internacionais de vidros (*INTERNATIONAL GLAZING DATABASE - IGDB*) que está sob constante atualização (LBNL, 2014). No entanto, nem todos os produtos vítreos nacionais estão disponibilizados neste banco de dados. Alguns produtos estão disponíveis apenas nos catálogos de seus fabricantes, nem sempre contendo todas as informações pertinentes. Assim, em muitos casos a análise de desempenho termoenergético de edificações é realizada a partir da entrada simplificada destas propriedades (ARASTEH, KOHLER, GRIFFITH, 2009).

Os métodos simplificados são desenvolvidos adotando diversas suposições. Estes métodos fornecem uma ferramenta rápida para a avaliação, mas também podem envolver uma incerteza considerável em seus resultados. Por outro lado, a utilização de um método mais detalhado exige uma demanda considerável de tempo e recursos. Além disso, requer um nível de conhecimento muito amplo e complexo.

O programa de simulação computacional *EnergyPlus*, que é hoje um dos mais difundido no Brasil, permite configurar o tipo de vidro adotado na edificação de acordo com duas condições de entrada de dados: o método simplificado e o detalhado (ENERGYPLUS ENGINEERING REFERENCE, 2013). A entrada de dados do simplificado permite inserir apenas três propriedades básicas: transmitância térmica, o fator solar e a transmissão visível. Já a entrada de dados detalhada, possibilita a inclusão de características adicionais do vidro, tais como: transmissão direta da radiação, reflexão nas faces interna e externa, emissividade e condutividade. Frente a isso, este trabalho tem como objetivo comparar os resultados obtidos sob estas duas diferentes condições de entrada das propriedades dos vidros no programa *EnergyPlus*.

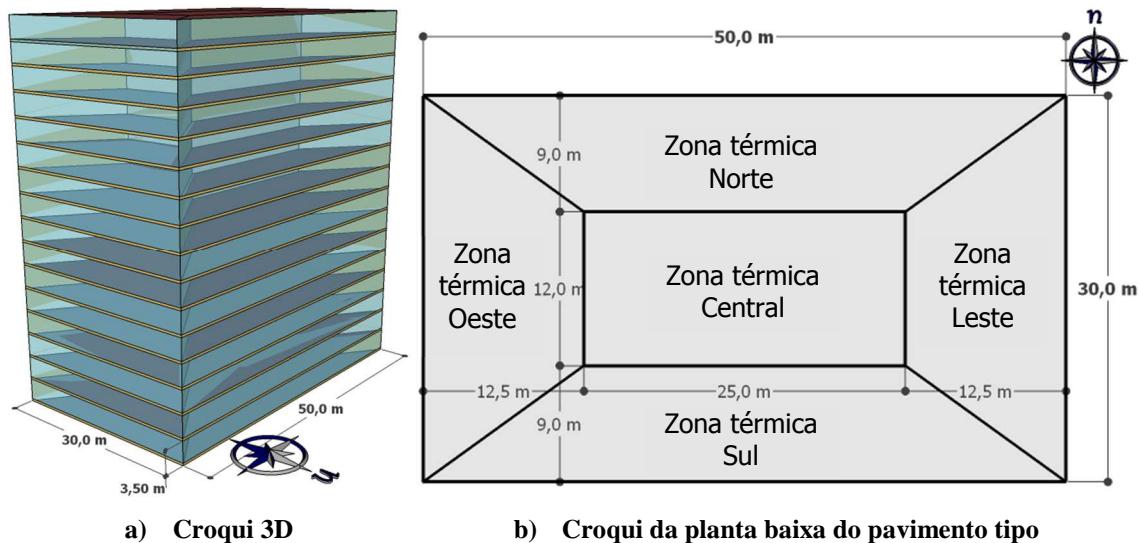
## 2 MÉTODO

### 2.1 Características da edificação

Para a avaliação da influência do método simplificado e detalhado sobre as configurações das propriedades térmicas e ópticas dos vidros no programa *EnergyPlus*, adotou-se uma

edificação comercial. Esta edificação possui dimensões de 50,0 m x 30,0 m x 3,5 m, com 16 pavimentos e uma área total construída de 24.000 m<sup>2</sup>. A Figura 1, apresenta o croqui 3D e o croqui da planta baixa da edificação.

**Figura 1 – Croqui 3D e o croqui da planta baixa da edificação**



## 2.2 Parâmetros da simulação

As simulações foram realizadas para as cidades de São Luís localizada na zona bioclimática brasileira 8, e a cidade de São Paulo, localizada na zona bioclimática brasileira 3.

Os arquivos climáticos utilizados possuem formato TRY (*Test Reference Year*), o qual representa um ano típico dentro de uma série de 10 anos. O ano típico de São Luís é 1966 e o de São Paulo é 1954.

A edificação foi modelada no programa *EnergyPlus* 7.2, considerando cinco zonas térmicas por pavimento (padrão *Core and Shell*), sendo 4 zonas térmicas perimetrais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e uma central. Todas as zonas térmicas perimetrais da edificação são condicionadas artificialmente, já, a zona térmica central não é condicionada, por ser área de circulação vertical e horizontal.

A modelagem do sistema de condicionamento de ar foi realizada através do sistema *Packaged Terminal Heat Pump* (PTHP). O sistema adotado reproduz o desempenho de condicionadores de ar do modelo Split.. Na Tabela 1 são apresentados os detalhes da modelagem do sistema de condicionamento artificial.

**Tabela 1 – Detalhes da modelagem do sistema de condicionamento artificial**

Parâmetro	Condição
Termostato de refrigeração	24°C
Taxa de fluxo de ar por pessoa	0,0025 (m <sup>3</sup> /s)
Capacidade de refrigeração	Auto dimensionamento
Coeficiente de Performance de resfriamento	3,4 W/W

As propriedades térmicas dos componentes da envoltória da edificação são: transmitância térmica da parede externa de 2,10 W/m<sup>2</sup>K; com absorção de 0,30; e transmitância térmica da cobertura de 1,0 W/m<sup>2</sup>K; com absorção de 0,30.

Na Tabela 2 são apresentadas as cargas internas consideradas na simulação da edificação, referente ao sistema de iluminação artificial, ocupação, equipamentos e o padrão de uso.

**Tabela 2 – Cargas internas consideradas na simulação da edificação**

Parâmetro	Condição	Fração Radiante
Carga interna de iluminação artificial	12 W/m <sup>2</sup>	0,7
Carga interna de ocupação	10 (m <sup>2</sup> /pessoa)	0,6
Carga interna de equipamento	150 W/pessoa	0,5
Padrão de uso	11 horas (8h00 às 19h00)	-

### 2.3 Área envidraçada e as propriedades térmicas e óticas dos vidros

As zonas térmicas perimetrais possuem um percentual de área envidraçada de 85% em relação a área da fachada do ambiente. Nas áreas envidraçadas não há nenhum dispositivo de sombreamento.

O estudo compara o desempenho de cinco opções de vidro: incolor, incolor laminado, verde laminado, duplo verde *low-e* e duplo controle solar prata. As propriedades térmicas e ópticas dos vidros avaliados através do método detalhado são apresentadas na Tabela 3. Os vidros duplos foram modelados com uma câmara de ar entre as lâminas com 12 mm de espessura. Para a simulação através do método simplificado foram adotadas as propriedades térmicas e ópticas dos vidros apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 3 – Propriedades térmicas e ópticas dos vidros simulados através do método detalhado**

Parâmetro	Duplo controle solar prata	Duplo verde low-e	Verde laminado	Incolor laminado	Incolor
Transmissão de luz (%)	0,14	0,88	0,33	0,88	0,30
Reflexão externa (%)	0,32	0,08	0,09	0,08	0,32
Reflexão interna (%)	0,36	0,08	0,03	0,08	0,22
Transmissão energética (%)	0,11	0,77	0,13	0,77	0,27
Reflexão energética externa (%)	0,29	0,07	0,07	0,07	0,20
Reflexão energética interna (%)	0,44	0,07	0,35	0,07	0,22
Emissividade face 1	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade face 2	0,49	0,84	0,062	0,84	0,84
Condutividade (W/m-k)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Espessura (m)	0,006	0,006	0,006	0,006	0,008

**Tabela 4 - Propriedades térmicas e ópticas dos vidros simulados através do método simplificado.**

Parâmetro	Duplo controle solar prata	Duplo verde low-e	Verde laminado	Incolor laminado	Incolor
Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)	2,35	1,70	5,72	5,72	5,80
Fator Solar (%)	0,18	0,19	0,43	0,45	0,82
Transmitância visível (%)	0,13	0,29	0,30	0,32	0,88

## 2.4 Análise dos resultados

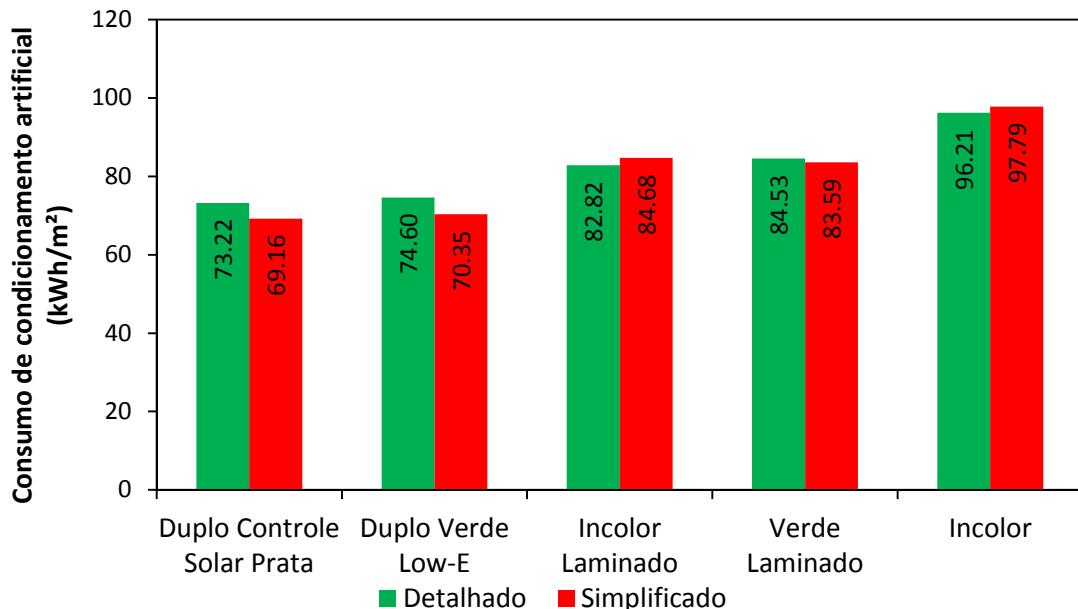
A comparação entre as duas condições de entrada das propriedades do vidro no programa EnergyPlus basearam-se no consumo da edificação por m<sup>2</sup>. O consumo de energia analisado baseou-se no condicionamento artificial da edificação. O consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica da edificação de acordo com a influência da orientação (Oeste, Sul, Leste e Norte) também foi quantificado.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Influência no consumo de energia para condicionamento artificial da edificação

O consumo de energia para condicionamento artificial da edificação para os cinco tipos de vidros analisados através do método detalhado e simplificado para a cidade de São Luís são apresentados na Figura 2.

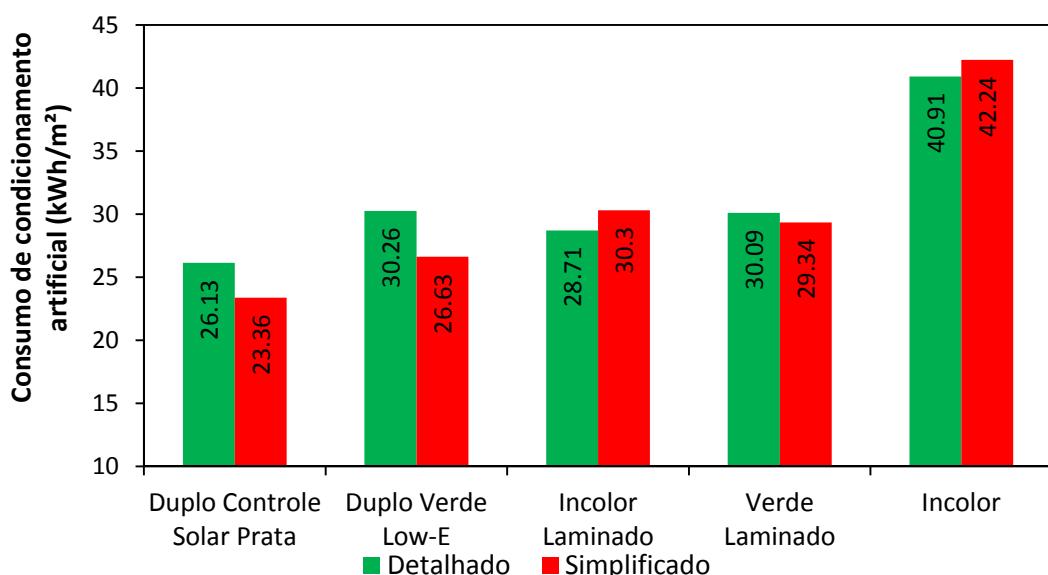
**Figura 2 –Consumo de condicionamento artificial da edificação com diferentes tipos de vidro - São Luís**



Observa-se que os casos simulados com vidros de alto desempenho<sup>1</sup> (duplo controle solar prata e duplo verde *low-e*) apresentaram maior consumo de energia para condicionamento artificial quando simulados através do método detalhado. O aumento no consumo de energia foi de aproximadamente 6% em relação aos casos simulados através do método simplificado. Para os casos com os vidros incolor laminado e incolor, as simulações através do método simplificado apresentaram um consumo de energia superior às simulações através do método detalhado. Este aumento foi de 2,2% e 1,6%, respectivamente.

A Figura 3 apresenta o consumo de energia para condicionamento artificial da edificação para os cinco tipos de vidros analisados para a cidade de São Paulo.

**Figura 3 – Diferença no consumo de condicionamento artificial da edificação com diferentes tipos de vidro - São Paulo**



Pode-se observar que os vidros de alto desempenho apresentaram as maiores diferenças no consumo de energia para condicionamento artificial entre os métodos detalhado e simplificado. Com o uso do vidro duplo de controle solar prata a simulação através do método detalhado apresenta um consumo de 11,8% superior quando comparado ao consumo do método simplificado. Já, no caso do vidro duplo verde *low-e* a diferença no consumo foi de 13,6%. Nas simulações com os vidros incolor laminado e incolor, os maiores consumos de energia para condicionamento artificial foram para as simulações através do método simplificado, com um aumento de 5,5% para o vidro laminado e de 3,3% para o vidro incolor.

Nas duas cidades analisadas (São Luís e São Paulo) a utilização do método detalhado para os vidros de alto desempenho aumentou o consumo da edificação, variando de 6% a 13,6% para o caso analisado. Estas diferenças são significativas, podendo comprometer a análise final dos resultados encontrados. Caso a edificação esteja sendo avaliada para um determinado processo de certificação dos edifícios, esta diferença encontrada pode interferir negativamente no resultado da avaliação final.

<sup>1</sup> Neste trabalho os vidros duplos foram identificados pela denominação “alto desempenho” em função de sua melhor característica de baixa transmissão energética em comparação com os demais vidros analisados. No entanto, alguns vidros laminados (com apenas uma *layer*) também podem ser classificados como sendo de alto desempenho pelos fabricantes.

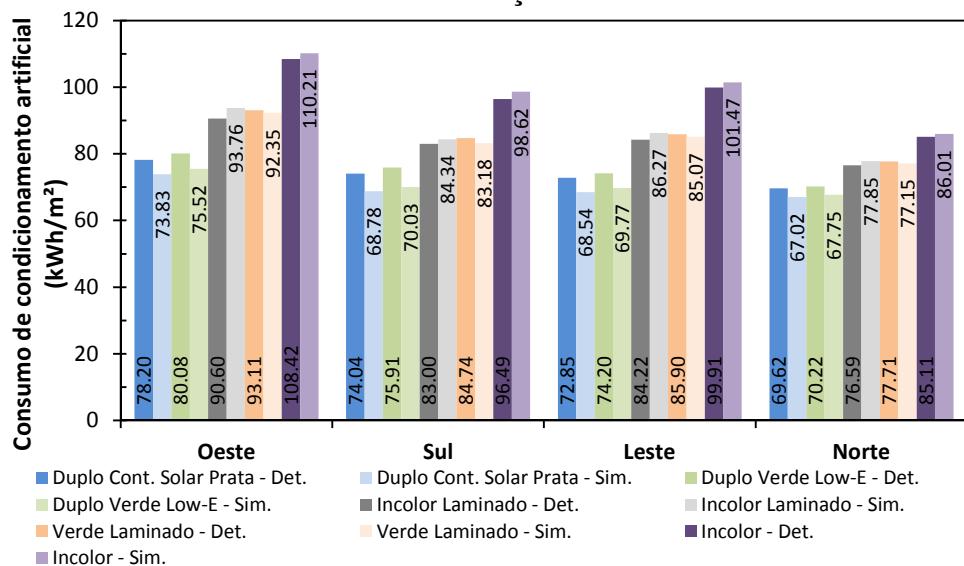
A entrada das características dos vidros através do método simplificado permite que os arquitetos analisem os impactos energéticos de diferentes conceitos de projetos arquitetônicos, de maneira rápida e simples. Entretanto, a precisão dos resultados depende da qualidade dos dados utilizados. Ressalta-se que o método simplificado adota poucos dados de entrada envolvendo uma incerteza considerável em seus resultados.

### 3.2 Influência da orientação no consumo de energia para condicionamento artificial da edificação

Para analisar a influência da orientação foi quantificado o consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica (Oeste, Sul, Leste e Norte). A Figura 4 apresenta o consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica da edificação para o clima de São Luís.

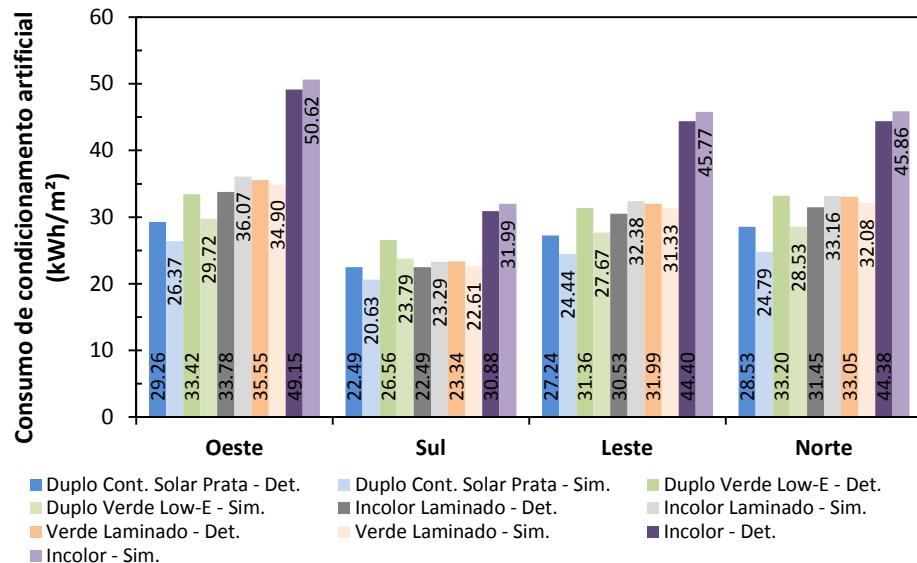
Observa-se que a diferença no consumo de energia entre a orientação Oeste e Leste foi entre 7,3% a 8,6%. A orientação Sul apresentou consumo superior à orientação Norte, sendo que a variação no consumo foi de 2,6% a 14,6%. A maior diferença (14,6%) encontrada foi no caso simulado através do método simplificado com vidro incolor, e a menor diferença (2,6%) no caso simulado através do método simplificado com vidro duplo de controle solar prata.

**Figura 4 – Consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica da edificação - São Luís.**



A Figura 5 apresenta o consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica da edificação para o clima de São Paulo. No caso de São Paulo, a orientação Norte apresentou um consumo superior à orientação Sul, diferente de São Luís. Observa-se que a diferença no consumo de energia entre a orientação Norte e Sul variou entre 20,1% a 43,7%, sendo que as maiores diferenças ocorrem nos casos com vidros incolor, incolor laminado e verde laminado. Na orientação Oeste e Leste a variação no consumo de energia para condicionamento artificial foi entre 7,4% a 10,7%.

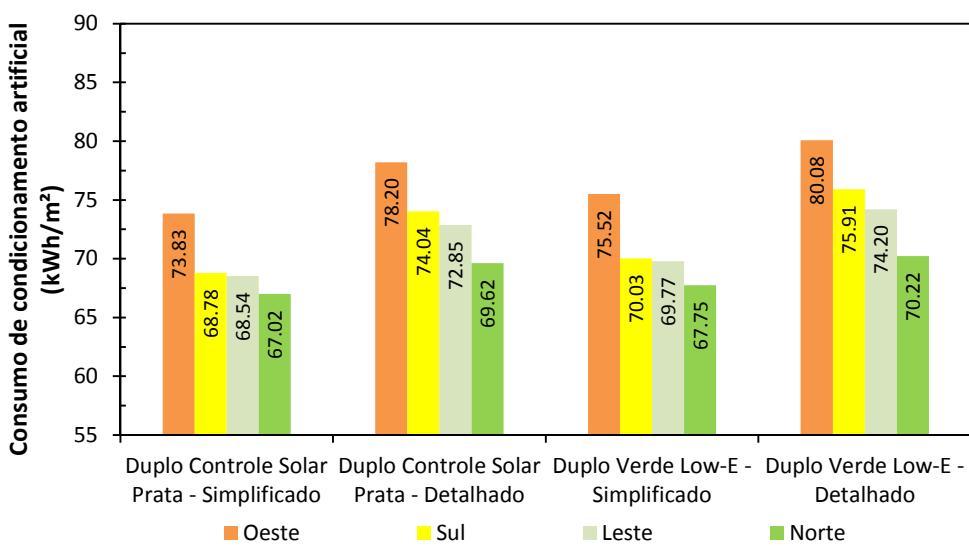
**Figura 5 – Consumo de energia para condicionamento artificial de cada zona térmica da edificação - São Paulo**



### 3.3 O impacto da orientação no desempenho dos vidros de alto desempenho

A Figura 6 apresenta o consumo de energia para condicionamento artificial da edificação com os vidros de alto desempenho em São Luís.

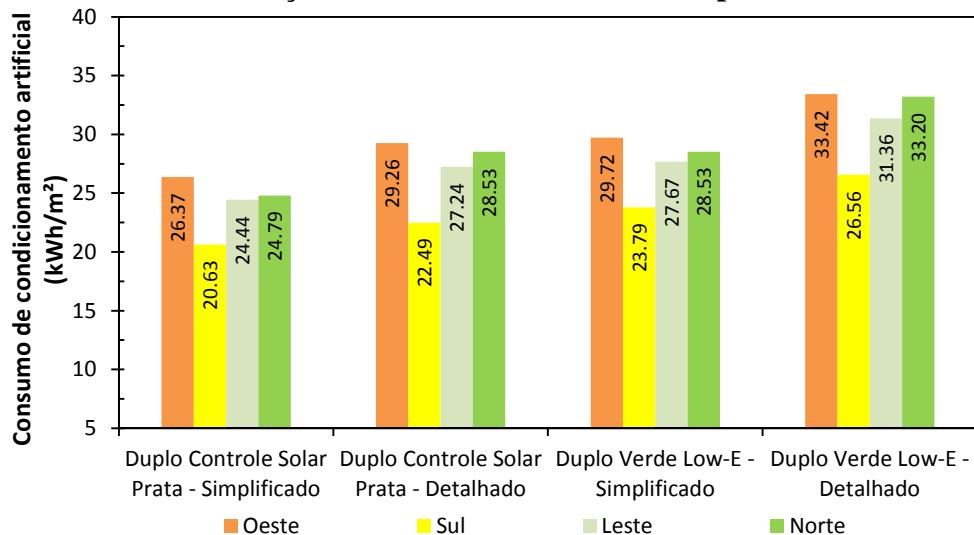
**Figura 6 – Impacto da orientação no consumo de energia para condicionamento artificial da edificação com os vidros de alto desempenho - São Luís**



Observa-se que a diferença no consumo de energia nos casos com vidro duplo *low-e* simulados através do método simplificado e detalhado variou entre 3,6% a 8,4%. A menor diferença encontrada é na orientação Norte, e a maior diferença é para a orientação Sul. Os resultados das simulações com vidro duplo de controle solar prata (simplificado e detalhado) apresentaram um desempenho semelhante ao vidro duplo *low-e*, sendo que o consumo de energia para condicionamento artificial variou entre 3,9% a 7,6%. Os vidros de alto desempenho foram os que apresentaram as maiores diferenças no consumo para cada orientação.

Os resultados das simulações para a cidade de São Paulo (Figura 7) mostram um impacto maior nos vidros de alto desempenho, quando comparado com os resultados para a cidade de São Luís.

**Figura 7 - Impacto da orientação no consumo de energia para condicionamento artificial na edificação com os vidros de alto desempenho -São Paulo**



Observa-se que a diferença no consumo de energia para condicionamento artificial no caso com vidro duplo de controle solar prata simulado através do método detalhado e método simplificado variou entre 9% a 15%. Esta variação é devido à influência da orientação. Já, no vidro duplo verde *low-e* a variação no consumo de energia é de 11% a 16%, sendo que a maior diferença observada entre o método detalhado e simplificado foi na orientação Norte.

Pode-se observar novamente que a precisão dos resultados com a utilização do modelo simplificado envolve uma incerteza considerável, apresentando consequentemente uma diferença significativa quando comparado com os resultados do método detalhado.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas duas cidades analisadas (São Luís e São Paulo) a aplicação de dados detalhados para os vidros de alto desempenho (duplos) indicou que o consumo global da edificação estaria entre 6% e 13% acima do valor estimado com o processo simplificado. Ou seja, o processo simplificado conduz a um consumo subestimado.

Considerando os vidros monolíticos (incolor, incolor laminado e verde) a variação observada entre os dois métodos foi menor, entre 1,6% e 5,5%. Nestes casos, a situação se inverte: o consumo indicado com a entrada de dados simplificada é superior ao valor encontrado no processo detalhado. Ou seja, agora o consumo é superestimado.

Assim, é possível ressaltar que para todos os casos analisados (incluindo a avaliação por orientação) a entrada das características dos vidros através do método simplificado modifica significativamente os resultados das simulações. O método simplificado adota poucos dados de entrada envolvendo uma incerteza considerável em seus resultados.

Como principal alerta, destaca-se que a entrada de dados pelo processo simplificado para vidros de alto desempenho conduz a resultados de consumo mais baixos do que o processo detalhado (subestimados). Estes resultados equivocados podem comprometer o processo de certificação dos edifícios, podendo levar a especificações de produtos com

desempenho inferior ao requerido para se atingir um determinado nível ou classificação de eficiência normalizados.

## REFERÊNCIAS

Arasteh, D.; Kohler, C.; Griffith, B. **Modeling Windows in Energy Plus with Simple Performance Indices.** LBNL-2804E. October 2009. Disponível: <http://gaia.lbl.gov/btech/papers/2804.pdf>

Carmody, J.; Selkowitz, S.; Lee, E.; Dariush, A.; Willmert, T. **Window Systems for High-Performance Buildings.** 1a Edição, NY, USA, 2004.

EnergyPlus Engineering Reference, 2013. Disponível: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>

Ihm., P.; Park, L.; Krarti, M.; Seo, D. **Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea.** Energy Policy 44 (2012) 1–9

LBNL. Lawrence Berkeley National Laboratory. IGDB - International Glazing Database. Disponivel em: <http://windows.lbl.gov/materials/IGDB/>. Acesso em maio de 2014.

Lee, J.W.; Jung, H.J.; Park, J.Y.; Lee, J.B.; Yoon, Y. **Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements.** Renewable Energy 50 (2013) 522 e 531.

Li, D. H. W. and Lam, J. C. **Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions.** Energy and Buildings v. 32, p. 47-55, 2000.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, e PROCEL/ELETROBRAS pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste estudo.