



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# LIMITAÇÕES DO ARCHSIM PARA OTIMIZAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO PARA ETIQUETAGEM RESIDENCIAL<sup>1</sup>

FONSECA, Ligiana (1); SANTANA, Laila (2); CARLO, Joyce (3)

(1) UFV, e-mail: ligiana.fonseca@gmail.com; (2) UFV, e-mail: lailaufv@gmail.com; (3) UFV, e-mail: correnacarlo@gmail.com

### RESUMO

A Otimização Baseada em Simulação (OBS) é um método recente utilizado na concepção de edifícios energeticamente eficientes. Esta consiste em técnicas de otimização estocástica atreladas à simulação, e a parametrização pode ser incorporada ao processo. O processo origina múltiplas alternativas de design e permite a escolha das que se enquadram nos objetivos almejados. O objetivo deste artigo foi avaliar o Archsim, plug-in que conecta os programas Rhinoceros/Grasshopper ao EnergyPlus, sob o ponto de vista do desenvolvimento projetual. Para tal, utilizou-se um método de OBS com base nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O trabalho integra a iniciação científica a um projeto de mestrado sobre modelagem digital. Foram concebidos dois modelos para os testes: um abrigo emergencial e uma edificação residencial multi-zonas. A versão avaliada (Archsim 1.4.0.1) apresentou limitações em relação às volumetrias complexas; aos parâmetros formais de modelos multi-zonas; à definição de cargas de ocupação em áreas variáveis; ao estabelecimento de taxas metabólicas dos usuários e em relação ao modelo de ar-condicionado recomendado pelo RTQ-R. Utilizaram-se algumas estratégias para contornar as limitações do Archsim. Concluiu-se que são necessários aprimoramentos do plug-in para a aplicação plena na etiquetagem de edificações residenciais.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Arquitetura Paramétrica. Otimização Baseada em Simulação.

### ABSTRACT

*Simulation-based optimization (SBO) is a present-day method used in the design of energy efficient buildings. It consists of stochastic optimization techniques associated to simulation, and parametrization can be incorporated to the process. The process produces multiple design alternatives and allows the selection of the ones that fit into the aimed objectives. The objective of this paper was to evaluate, Archsim, a plug-in that connects the software Rhinoceros/Grasshopper to EnergyPlus, from a point of view based on the design development. A SBO method based on the Technical Requirements of Quality of the Level of Energy Efficiency of Residential Buildings (RTQ-R) was used. The work integrates a engineers scientific research activity to a master'sresearch project. Two models were created for tests: an emergency shelter*

<sup>1</sup>FONSECA, Ligiana; SANTANA, Laila; CARLO, Joyce. Limitações do archsim para otimização baseada em simulação para etiquetagem residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

*and a multi-zone residential building. The evaluated version (Archsim 1.4.0.1) presented limitations on the creation of complex shapes, on shape parameters of the multi-zone models, on setting of people loadings, on establishment of metabolic rates of occupants, and on the model of air conditioning recommended by RTQ-R. Some strategies were used to overcome limitations of Archsim. In conclusion, some improvements of the plug-in are necessary for its full implementation on labelling of residential buildings.*

**Key-words:** Energy Efficiency. Parametric Architecture. Simulation-based Optimization.

## 1 INTRODUÇÃO

A modelagem paramétrica tem sido aplicada na arquitetura nas duas últimas décadas como meio de desenvolver formas orgânicas e explorar a criatividade, pois facilita alterações de projeto por ser concebido através de regras e dependências entre componentes (FLORIO, 2011). Esta abordagem também permite a exploração de diversas possibilidades de design de forma mais rápida em comparação à metodologia convencional de projetação, e pode ser integrada à otimização da forma e de componentes de edificações. Associada à simulação, a modelagem paramétrica e a otimização possibilitam o projeto de edificações focado no desempenho. Nesta metodologia, o desempenho (térmico, acústico, estrutural, etc) da edificação é tido como fator determinante para a criação da forma na arquitetura (OXMAN, 2008). O papel do projetista se destaca na criação de objetivos e parâmetros de projeto, sendo estes últimos os elementos a serem otimizados para alcance dos objetivos.

Segundo Bucking (2013), há um crescente interesse na aplicação de algoritmos de otimização nas pesquisas sobre o projeto de edifícios energeticamente eficientes. Os fundamentos matemáticos de otimização foram desenvolvidos há mais de um século, e as técnicas algorítmicas há mais de 50 anos, entretanto, as pesquisas de otimização aplicadas ao projeto de edificações surgiram depois da criação de programas de simulação energética a partir da década de 1960. Na época, estes estudos foram limitados devido aos escassos recursos computacionais; só em meados dos anos 1980 e início dos anos 1990 que a realização de pesquisas mais detalhadas se tornou viável. A partir da década de 2000, devido ao aumento no uso de computadores portáteis, os estudos relacionados à otimização de edificações progrediram (NGUYEN et al., 2014).

À medida que novas tendências emergem, aumenta a necessidade dos profissionais da área se atualizarem e compreenderem as novas técnicas. Segundo Shi e Yang (2013), os arquitetos estão, em sua maioria, desconectados destas novas abordagens. Shi e Yang (2013) descrevem que há, até o início dos anos 2010, duas categorias predominantes de métodos projetuais dentre os arquitetos especializados em edifícios energeticamente eficientes. A primeira é a abordagem na qual, após a realização do projeto arquitetônico, são aplicados ao edifício os trabalhos de outros profissionais, como engenheiros civis ou engenheiros mecânicos. A segunda abordagem aplica as estratégias na

fase conceitual do projeto. Na primeira, a qualidade final e o desempenho são determinados principalmente pela eficácia do somatório das tecnologias, o que pode acarretar em custo significativamente maior. Além disso, este método pode consumir enorme tempo e não há garantia de que se chegue a uma solução próxima do ideal. Isto porque as estratégias bioclimáticas são, muitas vezes, conflitantes entre si (MAGNIER, 2008). Na segunda, o arquiteto tem maior controle sobre o projeto, no entanto, os métodos tendem a ser conceituais e não quantificáveis e podem não satisfazer aos padrões de edificação energeticamente eficiente (SHI e YANG, 2013). Na otimização baseada em simulação (OBS), por outro lado, a solução final dentro de um quadro de soluções potenciais é determinada com base no desempenho provado por programas de simulação ou processos de avaliação das soluções.

Há atualmente uma grande distância entre os arquitetos e os engenheiros (civis, mecânicos, eletricistas) em relação ao conhecimento de métodos de OBS (SHI e YANG. 2013). Em uma entrevista com 28 especialistas internacionais em otimização computacional de projetos de edificações de consumo de energia zero realizada por Attia (2012), identificou-se que a maior parte dos especialistas possuía formação em engenharia de edificações, engenharia mecânica ou outras engenharias relacionadas à construção civil. Quase todos possuíam alguma especialização em ciência de edificações, computação ou otimização, não havendo nenhum entrevistado graduado apenas em arquitetura. Segundo muitos entrevistados, as técnicas de otimização seriam interessantes para o uso de arquitetos, engenheiros e profissionais de projeto de edificações, porém o que se verifica é que atualmente elas exigem uma especialização em relação aos processos. Além disso, as ferramentas em sua maioria ainda não possuem uma interface amigável para o uso de profissionais que não possuem uma familiaridade com a área, restringindo as técnicas de otimização à aplicação por especialistas apenas.

Por isso, para que esses métodos possam suceder, é essencial que haja um diálogo entre todos os profissionais envolvidos, desde arquitetos a engenheiros, e que as ferramentas de OBS se tornem mais acessíveis aos projetistas de edificações. Recentemente, têm sido lançadas ferramentas computacionais que possibilitam a projetistas a criação de formas paramétricas sem necessidade de conhecimento de linguagens de programação ou *scripting*, como o Grasshopper, que é uma linguagem de programação visual. O desenvolvimento desta ferramenta tem proporcionado maiores avanços em relação à geração de formas mais complexas na arquitetura e integração entre a construção da forma e diversas outras áreas. Plug-ins para o Grasshopper têm sido criados de modo a incorporar ao processo de desenho do projeto técnicas de avaliação de desempenho estrutural, desempenho térmico, luminoso, cálculos matemáticos, estatísticos, etc, ou mesmo integrar diversas outras ferramentas externas ao processo de concepção. O Archsim, criado para conectar o Rhino 3D/Grasshopper ao Energy Plus, possibilita a

integração do processo de concepção projetual à simulações termo-energéticas e aplicação de otimização baseada em simulação. O Archsim possui uma interface mais simplificada para usuários com pouca especialização em simulações termo-energéticas comparado a outro plug-in desenvolvido para o Grasshopper com a mesma finalidade: o Honeybee. Este trabalho visa avaliar o Archsim como ferramenta de conexão do Rhino/Grasshopper com o EnergyPlus, com o intuito de otimizar a forma segundo os parâmetros dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INSTITUTO..., 2012). Duas edificações foram usadas, uma com uma zona térmica e outra multi-zonas.

Pesquisas recentes sugerem que métodos de otimização aplicados ao projeto de edifícios são, em sua maioria, utilizados em pesquisas acadêmicas, ainda não sendo amplamente utilizados na indústria da construção civil (ATTIA et al., 2013 apud BUCKING, 2013). Apesar de se tratar de uma técnica ainda pouco difundida, Nguyen et al. (2014) e outros profissionais da área (ATTIA, 2012) defendem que os métodos de Otimização Baseada em Simulação são, sem dúvida, abordagens promissoras para alcançar metas de projetos energeticamente eficientes, abrindo uma nova era de design para arquitetos e engenheiros.

## 2 MÉTODOS

Para este trabalho foram desenvolvidos dois projetos para otimização da forma de edificações residenciais: um abrigo emergencial, composto de uma única zona térmica (Figura 1); e uma edificação residencial unifamiliar, composta por uma sala, escritório, quatro dormitórios, banheiro e cozinha, divididos em dois pavimentos (Figura 2).

Figura 1 – Abrigo emergencial

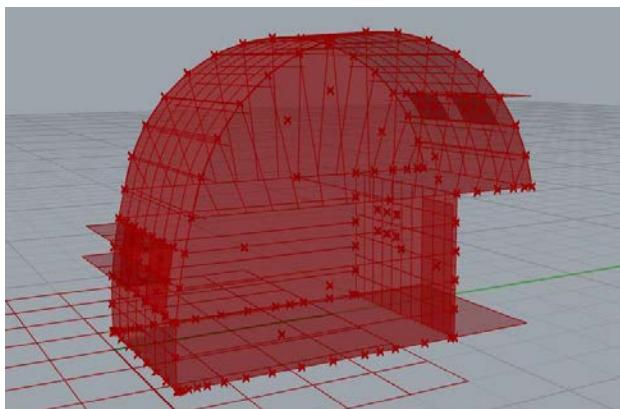
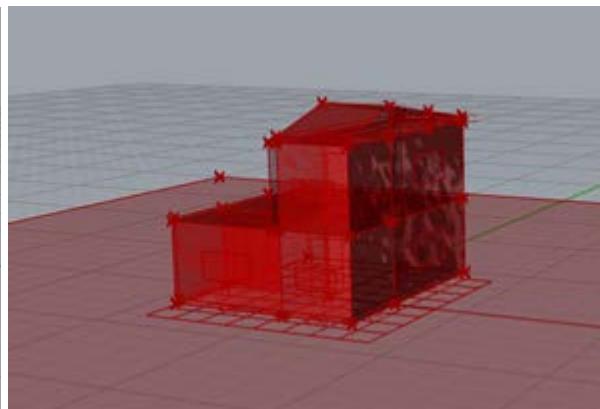


Figura 2 – Edificação residencial



Fonte: Acervo pessoal

Realizou-se otimizações multiobjetivo para ambos os casos. A otimização do abrigo tinha como objetivos encontrar a forma que proporcionasse o melhor

desempenho térmico - tanto para verão quanto para inverno - para quatro zonas bioclimáticas brasileiras; e a otimização da edificação residencial tinha como objetivos encontrar a forma com o melhor desempenho térmico e menores custos de materiais construtivos para a cidade de Viçosa-MG<sup>2</sup>, localizada na Zona Bioclimática 3. Tendo por objetivo comum para os dois casos a otimização da forma com base no desempenho térmico das edificações e considerando restrições formais e estruturais distintas e impostas a cada projeto, foram determinadas variáveis que causariam um impacto no desempenho térmico de cada caso. Para o caso do abrigo, foram criadas variáveis referentes ao pé-direito total, pé-direito do mezanino, área de abertura de janelas, comprimento das proteções solares e espessura dos revestimentos da envoltória. Para o caso da edificação residencial, por se tratar de um modelo multi-zonas, as variáveis foram simplificadas. Elas constavam em pé-direito de cada pavimento, altura do telhado, comprimento e largura de cada ambiente de permanência prolongada, e espessura das lajes.

Para as simulações de desempenho térmico foi adotado o plug-in Archsim 1.4.0.1, utilizando-se os parâmetros de quantificação do resfriamento e aquecimento da envoltória naturalmente ventilada, de acordo com o método de simulação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012). Foram avaliadas a liberdade de composição formal permitida pelo Archsim/Energy Plus para os casos de uma ou múltiplas zonas térmicas; a adequabilidade do plugin para o desenvolvimento de projetos de otimização baseada em simulação seguindo o método de simulação do RTQ-R para ambientes naturalmente ventilados; e se o Archsim versão 1.4.0.1 possibilita ao usuário inserir todos os dados de entrada determinados pelo RTQ-R, tais como padrões de uso e cargas internas recomendadas (INSTITUTO..., 2012), para o método de simulação.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para descobrir as limitações do Archsim relacionadas ao processo de projeto e à aplicação do método de simulação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) para determinação da eficiência energética das edificações, os protótipos foram modelados através do plug-in Grasshopper. Nenhum componente das edificações foi modelado diretamente no Rhinoceros, uma vez que as edificações deveriam ser modeladas através de parâmetros, com destaque para as variáveis da forma. Nos tópicos 3.1 a 3.5 são discutidos os potenciais e limitações do Archsim em relação ao desenvolvimento de projetos com o uso de otimização baseada em simulações termo-energéticas.

#### **3.1 Quanto à criação formal**

---

<sup>2</sup> Viçosa-MG – latitude 20°45'14" S, longitude 42°52'54" O, altitude 649 m.

O Archsim 1.4.0.1 permite a modelagem de zonas térmicas através de duas alternativas: a inserção de uma geometria única (por exemplo, uma caixa), em que o plug-in automaticamente identifica quais superfícies são consideradas paredes, piso e cobertura (Figura 3a), ou a modelagem de uma zona por meio de superfícies (Figura 3b), em que é permitido ao usuário uma maior liberdade de criação formal em relação à anterior, pois permite a criação individual de superfícies, a atribuição de suas funções (parede, piso ou cobertura) e a união destas através do componente de criação de zonas do Archsim – como realizado no processo de modelagem do abrigo emergencial e do telhado da edificação residencial.

Figura 3: Modelagem de zonas térmicas a partir de uma geometria única (a) e por meio de superfícies (b)



No entanto, o componente de criação de zonas térmicas por superfícies não permite ao usuário atribuir um nome à zona, e, nesta versão do plug-in o nome "*manualZone0*" é atribuído para todas as zonas criadas por meio deste método, o que ocasiona uma falha durante as simulações do Energy Plus. Desta forma, para os usuários do plug-in que não possuem conhecimentos de programação (o que poderia provavelmente contornar esta limitação), não é aconselhável utilizar este componente mais do que uma vez ao se trabalhar com um modelo multi-zonas<sup>3</sup>.

Outra limitação do Archsim/Energy Plus em relação à liberdade de composição formal se refere à geometria das superfícies, que devem ser sempre planas. Desta forma, a volumetria do abrigo emergencial só foi viabilizada através da criação de várias superfícies planas que, em contato, geram a curva de uma das paredes e da cobertura. Todas as aberturas para ventilação foram criadas no mesmo plano das superfícies de vedação em que estavam inseridas.

### 3.2 Quanto ao modelo Airflow Network do Energy Plus

<sup>3</sup> Na versão 1.6.0.3, lançada após a conclusão desta pesquisa, o autor do plugin, considerando discussões e sugestões dos usuários do plugin, realizou alterações ao componente, solucionando o problema apresentado na versão avaliada.

O Archsim 1.4.0.1 possui dois modelos de ventilação natural: “*Simple Airflow Objects*”, modelo simplificado e indicado para zonas com uma única abertura; e “*Airflow Network*”, recomendado para modelos multi-zonas em que existem trocas de ar entre as zonas. Só é possível a escolha de um dos modelos de ventilação para o projeto modelado, e o *Airflow Network* exige que existam duas aberturas para ventilação em todas as zonas térmicas. No caso do modelo da edificação residencial, foi necessário criar uma cobertura ventilada, pois esta foi modelada como uma zona térmica. As aberturas para ventilação podem ser mínimas, de modo que o usuário dos programas possa considerá-las nulas durante a análise dos resultados, caso a cobertura não seja de fato ventilada.

No modelo de ventilação não é possível determinar o perfil da rugosidade do solo (campo, subúrbio ou periferia, centro urbano, litoral, área urbana), para correção dos dados de velocidade do vento do arquivo climático (INSTITUTO..., 2012). O coeficiente de rugosidade do entorno é sempre 0,22 (ASHRAE, 2001 *apud* ENERGY PLUS 2014a), correspondendo a uma região de subúrbio (área mais arborizada) (ENERGY PLUS, 2014b). O RTQ-R indica um coeficiente de 0,33, representativo de um centro urbano em que “pelo menos 50% das edificações possuem altura maior que 21m” (INSTITUTO..., 2012). Este aspecto já compromete um projeto a ser etiquetado, sendo necessário que, após obtidos os resultados otimizados, o modelo escolhido seja reavaliado por simulação no Energy Plus para confirmação do nível de eficiência energética alcançado.

### **3.3 Quanto à ocupação dos ambientes**

O Archsim permite a modelagem dos horários de ocupação de cada zona térmica em função da área do ambiente, o que é adequado para ambientes de escritório ou edificações em que a área dos ambientes é fixa. O RTQ-R indica uma ocupação de 2 pessoas por dormitório, e para salas e ambientes similares, a população dos dormitórios da edificação deve ser distribuída entre os ambientes. No caso da modelagem paramétrica em que a área de um ambiente é um parâmetro a ser otimizado, não é possível determinar uma carga de ocupação constante utilizando-se o Archsim 1.4.0.1. Além disso, a taxa metabólica dos ocupantes da edificação é sempre 120W. Para atendimento ao RTQ-R (taxas metabólicas de 108W e 81W para salas e dormitórios respectivamente), a taxa de ocupação dos ambientes deve ser alterada para adequação a estas. Para um dormitório, em vez de 2 pessoas, deve-se determinar uma ocupação de 1,48 pessoas, o que corresponderia a duas pessoas com taxa metabólica de 81W de acordo com o RTQ-R, por exemplo.

### **3.4 Quanto à criação de materiais**

O Archsim 1.4.0.1 possui uma biblioteca de materiais construtivos e permite a modelagem destes. Os dados de entrada para materiais opacos são: rugosidade, condutividade térmica, densidade, calor específico e absorção térmica, solar e visível. A criação de uma câmara de ar pelo plug-in só pode ser efetivada como um material modelado pelo usuário, e, na biblioteca *default* do plug-in não existe ainda o material "ar"; todavia não é possível estabelecer valores nulos para densidade e condutividade térmica, que corresponderiam às propriedades térmicas do ar, quando este é modelado como um material. O Archsim estabelece valores mínimos por *default* para estas propriedades, sendo 0,023 W/m.K o valor mínimo para a condutividade térmica e 10 kg/m<sup>2</sup> o valor mínimo para a densidade. Além disso, as portas internas das edificações devem ser modeladas como janelas internas, tendo o vidro como material constituinte.

### **3.5 Quanto ao modelo de ar condicionado**

O RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) determina como indicadores de desempenho da envoltória das edificações naturalmente ventiladas os graus-hora de resfriamento para o verão e o consumo por aquecimento para o inverno. O componente do Archsim que realiza o intercâmbio de dados com o Energy Plus recebe diversos dados de saída das simulações; entre eles a temperatura operativa horária de cada zona térmica, que é utilizada para cálculo dos graus-hora de resfriamento através de equações criadas com componentes matemáticos do Grasshopper. Entretanto, o Archsim não permite a modelagem de parâmetros de ar-condicionado, condição requerida pelo RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) para obtenção do consumo por aquecimento da envoltória. Sendo assim, o método de etiquetagem de edificações residenciais por simulação não pode ser aplicado através da modelagem pelo Archsim. Além disso, mesmo se a opção de refrigeração do Archsim (*Ideal Loads*) pudesse ser utilizada para a simulação, o Archsim 1.4.0.1 não permite a determinação de um padrão de uso de disponibilidade do ar condicionado (o RTQ-R determina que a edificação deve ser condicionada artificialmente entre 21 e 8h com a temperatura do termostato de aquecimento de 22°C para as ZB's 1 a 4), apenas a sua temperatura de *setpoint*.

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em um contexto em que a demanda por projetos de edificações de alto desempenho se torna crescente, faz-se necessário que a familiaridade com programas de simulação de desempenho também cresça no mercado da construção civil. E a otimização da forma ou de componentes construtivos de edificações associada à simulação insere-se como um método eficiente para o alcance de soluções projetuais mais sustentáveis. No entanto, muitas vezes, os programas criados apresentam interfaces complexas e demandam um longo tempo para familiarização dos usuários. O Archsim 1.4.0.1, apesar de apresentar

uma interface mais amigável para iniciantes em simulações temo-energéticas, apresentou diversas restrições em relação à criação da forma das edificações nas simulações para a otimização. Conclui-se que, para a aplicação do RTQ-R (INSTITUTO..., 2012) e para determinação do nível de eficiência energética de edificações residenciais, ainda são necessários aprimoramentos do plug-in. Desse modo, quando todos os parâmetros determinados pelo RTQ-R puderem ser inseridos, o projetista terá maior liberdade na criação dos parâmetros a serem otimizados. Deve-se ressaltar que usuários do plug-in podem fazer sugestões ao seu desenvolvedor para que aprimoramentos possam ser incorporados em novas versões lançadas, como foi comprovado pelos autores após o lançamento da versão 1.6.0.3. Desta forma, com um aumento de sua aplicação no contexto brasileiro, o plug-in apresenta um grande potencial de aplicação na modelagem paramétrica e otimização de edificações seguindo os regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações no Brasil.

A parametrização e otimização aplicadas à arquitetura são abordagens que exigem sistematização projetual, desde a concepção até à finalização. Este método de trabalho altera os padrões de concepção e de gerência de projetos. O edifício não é pensado apenas em termos de volumes abstratos, mas como entidade com variáveis expressas matematicamente. Esta é uma área de pesquisa em crescimento e que exige trabalho multidisciplinar, pois comprehende a arquitetura, as engenharias e a computação.

São necessárias novas pesquisas para que estes programas sejam utilizados plenamente na prática profissional. Neste sentido, para abranger estes métodos multidisciplinares, é preciso que os profissionais estejam constantemente atualizando seus conhecimentos. O surgimento e aumento do uso dessas tecnologias, como parametrização e simulação termoenergética, parte de uma demanda atual por sustentabilidade nos empreendimentos construtivos, indicam algumas tendências para o novo panorama de trabalho dos profissionais de arquitetura.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fapemig e ao CNPq pelo suporte e financiamento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ATTIA, Shady. **Computacional Optimisation for Zero Energy Building Design - Interviews with Twenty Eight International Experts**. International Energy Agency (IEA) Task 40: Towards Net Zero Energy Buildings Subtask B; 2012.

BUCKING, Scott. **Pathways to Net-Zero Energy Buildings: An Optimization Methodology.** PhD Thesis in Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montréal, Québec, Canada, 2013.

ENERGY PLUS Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations. Illinois: EnergyPlus, 25 set. 2014.

ENERGY PLUS Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. Illinois: EnergyPlus, 29 set. 2014.

FLORIO, W. Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 6, n.2, p. 43-66, dez. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Portaria n.18.

MAGNIER, Laurent. **Multiobjective Optimization of Building Design Using Artificial Neural Network and Multiobjective Evolutionary Algorithms**. Ph.D Thesis in Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montréal, Québec, Canada, 2008.

NGUYEN, Anh-Tuan; REITER, Sigrid; RIGO, Philippe. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. **Applied Energy**, Elsevier, n.113, ago. 2014.

OXMAN, R. Performance-based Design: Current Practices and Research Issues. **International Journal of Architectural Computing**, v. 6, n. 01, p. 1-17, 2008.

SHI, Xing; YANG, Wenjie. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. **Automation in Construction**, Elsevier, n. 32, jan. 2013.