



**Luciana Monticelli de Melo**

## **Sustentabilidade Inteligente**

**Otimização da Edificação com o uso de Algoritmos  
Genéticos**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-graduação em Métodos de Apoio à Decisão do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio

Orientador: Dr. Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco

Rio de Janeiro  
Março de 2009



**Luciana Monticelli de Melo**

## **Sustentabilidade Inteligente**

### **Otimização da Edificação com o uso de Algoritmos Genéticos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Métodos de Apoio à Decisão do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Dr. Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco**

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

**Dr. Marcos Martins Borges**

UFJF

**Dra. Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Dra. Karla Tereza Figueiredo Leite**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de Março de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Luciana Monticelli de Melo**

Graduou-se em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, 1997.

#### Ficha Catalográfica

Melo, Luciana Monticelli de

Sustentabilidade Inteligente : Otimização da Edificação com o uso de Algoritmos Genéticos / Luciana Monticelli de Melo; orientador: Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco. — 2009.

76 f.: il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Computação Evolucionária. 3. Algoritmos Genéticos. 4. Simulador de Energia EnergyPlus. 5. Sustentabilidade. 6. Eficiência Energética. I. Pacheco, Marco Aurélio Cavalcanti. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus pais e meu irmão, pelo incentivo e por serem sempre exemplos a se seguir.  
Ao André, pela paciência, carinho, ajuda e ensinamentos.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco, pelo apoio, pelo incentivo, pelas idéias empreendedoras e pelo suporte para o desenvolvimento deste trabalho ao longo destes dois anos.

À Capes e à PUC–Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus colegas da PUC–Rio.

Aos meus pais, irmão e família.

Aos professores Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco e Marley Vellasco, que me ofereceram a oportunidade desta cooperação.

Aos amigos do laboratório de Inteligência Computacional Aplicada - ICA, pelo apoio moral.

Ao André, por tudo.

## Resumo

Melo, Luciana Monticelli de; Pacheco, Marco Aurélio Cavalcanti. **Sustentabilidade Inteligente**. Rio de Janeiro, 2009. 76p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O crescente consumo de energia é preocupante, principalmente pelo uso de sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial. Nas edificações modernas, os projetos arquitetônicos vêm negligenciando os fatores que proporcionam o conforto ambiental. Baseando-se nos conceitos da arquitetura sustentável, esta dissertação propõe e modela um sistema que otimiza os parâmetros da edificação que influenciarão no consumo de energia elétrica, nos custos com a construção e na emissão de poluentes pela edificação. Propõe-se um modelo de algoritmos genéticos que, juntamente com um programa de simulação de energia, EnergyPlus, constitui o modelo evolucionário desenvolvido neste trabalho. Este modelo otimiza parâmetros como: dimensionamento de aberturas e de pé-direito; orientação da edificação; condicionamento do ar; disposição de árvores no entorno da edificação; etc. O modelo evolucionário tem sua ação e eficácia testados em estudo de casos – edificações desenhadas por projetista –, em que se alteram: espessura das paredes, altura de pé-direito, largura de janelas, orientação quanto ao Norte geográfico, localização de elementos sombreantes (árvores), uso ou não de bloqueadores solares. Estes fatores influenciarão no conforto térmico da edificação e, conseqüentemente, no consumo elétrico dos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial, que por sua vez, influenciam os parâmetros que se pretende otimizar. Os resultados obtidos mostram que as otimizações feitas pelo modelo evolucionário foram efetivas, minimizando o consumo de energia pelos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial em comparação com os resultados obtidos com as edificações originais fornecidas pelo projetista.

## Palavras-chave

Computação evolucionária; algoritmos genéticos; simulador de energia EnergyPlus; sustentabilidade; eficiência energética.

## Abstract

Melo, Luciana Monticelli de; Pacheco, Marco Aurélio Cavalcanti ( Advisor). **Buildings Energy Efficiency–Building Optimization using Genetic Algorithms**. Rio de Janeiro, 2009. 76p. MSc Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The continuous rising on energy consumption is a concerning issue, especially regarding the use of air conditioning systems and artificial lighting. In modern buildings, architectural designs are neglecting the factors that provide environmental comfort in a natural way. Based on concepts of sustainable architecture, this work proposes and models a system that optimizes the parameters of a building that influence the consumption of electricity, the costs with the building itself, and the emission of pollutants by these buildings. For this purpose a genetic algorithm model is proposed, which works together with an energy simulation program called EnergyPlus, both comprising the evolutionary model developed in this work. This model is able to optimize parameters like: dimensions of windows and ceiling height; orientation of a building; air conditioning; location of trees around a building; etc. The evolutionary model has its efficiency tested in case studies – buildings originally designed by a designer –, and the following specifications provided by the designer have been changed by the evolutionary model: wall thickness, ceiling height, windows width, building orientation, location of elements that perform shading function (trees), the use (or not) of sun blockers. These factors influence the building's heat comfort and therefore the energy consumption of air conditioning systems and artificial lighting which, in turn, influence the parameters that are meant to be optimized. The results show that the optimizations made by the evolutionary model were effective, minimizing the energy consumption for air conditioning systems and artificial light in comparison with the results obtained with the original buildings provided by the designer.

## Keywords

Evolutionary computation; genetic algorithms; EnergyPlus energy simulator; sustainability; energy efficiency.

## Sumário

1	Introdução	<b>11</b>
1.1	Motivação	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Contribuições	13
1.4	Descrição do Trabalho	14
1.5	Organização do Trabalho	15
2	Fundamentos Teóricos	<b>16</b>
2.1	Algoritmos Genéticos	16
2.2	Simulador de Energia EnergyPlus (EP)	27
2.3	Sustentabilidade, Conforto Térmico e Eficiência Energética	29
2.4	Etapas de um projeto arquitetônico que prioriza a eficiência energética	39
3	Modelo Evolucionário para Sustentabilidade Inteligente	<b>42</b>
3.1	Objetivos da Otimização	44
3.2	Cromossomo do Modelo Ideal	45
4	Estudo de casos	<b>48</b>
4.1	Definição do Cromossomo	48
4.2	Função de Avaliação	50
4.3	Esquema da otimização	50
4.4	Estudo de Caso 1	51
4.5	Estudo de Caso 2	61
4.6	Resultados Comparativos	69
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	<b>72</b>
5.1	Conclusões	72
5.2	Trabalhos Futuros	73
	Referências Bibliográficas	<b>74</b>



## Lista de figuras

1.1	Esquema do funcionamento do modelo	15
2.1	Ciclo do Algoritmo Genético	20
2.2	<i>Crossover Uniforme</i>	25
2.3	Gerenciador de Simulação Integrada	30
2.4	Condução, radiação, convecção	34
2.5	Consumo de energia por equipamentos em uma residência	36
2.6	Absorção, Reflexão e Transmissão da radiação solar por um vidro	39
2.7	Esquema de projeto	40
3.1	Estrutura do modelo proposto.	42
4.1	Parâmetros otimizados pelo cromossomo do modelo ideal – Casa Kaufmann (ou Casa da Cascata) – Projeto de Frank Lloyd Wright, 1936	49
4.2	Definição do Cromossomo	49
4.3	Otimização	51
4.4	Casa Original – Estudo de Caso 1 – Perspectiva	52
4.5	Casa Original – Estudo de Caso 1 – Planta Baixa	53
4.6	Teste 1 – Perspectiva	54
4.7	Teste 1 – Planta Baixa	55
4.8	Resultado Teste 1 – Algoritmo Genético e Busca Aleatória	55
4.9	Teste 2 – Perspectiva	57
4.10	Teste 2 – Planta Baixa	57
4.11	Teste 3 – Perspectiva	59
4.12	Teste 3 – Planta Baixa	59
4.13	Teste 4 – Perspectiva	61
4.14	Teste 4 – Planta Baixa	62
4.15	Casa Original – Estudo de Caso 2 – Perspectiva	63
4.16	Casa Original – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa	63
4.17	Casa Original com Àrvore – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa	64
4.18	Casa Original com Àrvore – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa	64
4.19	Teste 5 – Perspectiva	65
4.20	Teste 5 – Planta Baixa	66
4.21	Teste 6 – Perspectiva	67
4.22	Teste 6 – Planta Baixa	68
4.23	Teste 7 – Perspectiva	69
4.24	Teste 7 – Planta Baixa	70

## Lista de tabelas

2.1	Representação na base 2	21
2.2	Atividades e Calor Sensível	35
2.3	Níveis de Iluminação	38
4.1	Valores médios de consumo – Teste 1	55
4.2	Valores médios de consumo – Teste 2	57
4.3	Valores médios de consumo – Teste 3	59
4.4	Valores médios de consumo – Teste 4	60
4.5	Valores médios de consumo – Teste 5	65
4.6	Valores médios de consumo – Teste 6	67
4.7	Valores médios de consumo – Teste 7	69
4.8	Valores médios de consumo – Resultados Comparativos	70