

# **Abordagem Multicritério para Avaliação/Certificação de Edificações Sustentáveis**

**Anderson Martins Morais  
José Luiz da Silva  
Helder Gomes Costa**

## **Resumo**

Rumo a práticas menos impactantes ao meio ambiente, um número crescente de governantes e empresários do setor da construção civil está enxergando com mais clareza a necessidade e o grande potencial das mudanças nos modelos de concepção, design, uso e funcionamento de edificações.

Neste ano de 2010, foi apresentado o primeiro selo de certificação de construções sustentáveis adaptado a realidade brasileira, que classifica a gestão ambiental das obras a partir de 14 critérios.

A partir do modelo de certificação de construções apresentado, este trabalho propõe desenvolver uma modelagem para a avaliação do grau de sustentabilidade de edificações, utilizando métodos de superclassificação, em especial os métodos das famílias ELECTRE.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, avaliação de edifícios.

## 1. INTRODUÇÃO

Ser sustentável é uma postura de economia e responsabilidade socioambiental. O cenário atual é de crescente degradação do planeta, com ameaça de extinção de insumos naturais, somado ao aumento dos níveis de pobreza no mundo e, conseqüentemente, da possibilidade de crises sociais. O desafio em todos os setores da economia é estabelecer metodologias sustentáveis na cadeia produtiva para a redução dos impactos no meio ambiente e promover a integração social sem abandonar o crescimento e a competitividade de mercado.

Na construção civil, as edificações sustentáveis são uma evolução e seus impactos vão além do meio ambiente, provocando mudanças, também comportamentais, como a cultura do não desperdício, utilização racional de energia, uso de transportes alternativos com baixa emissão de poluentes e emprego de materiais reciclados, de reuso ou com madeira certificada.

Os empreendimentos sustentáveis devem ser entendidos como aqueles que, harmonizados com o meio ambiente e com a comunidade de sua influência, proporcionam o melhor retorno para seus investidores, proprietários e menores custos e melhor saúde, conforto e produtividade para seus ocupantes. Espaço sustentável, racionalização do uso da água, eficiência energética, qualidade ambiental interna e sustentabilidade dos materiais. Estes são os cinco pontos principais quando se fala em certificação ambiental *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), critério mais difundido no mundo para construções ambientalmente sustentáveis (*Green Building*).

De acordo com Meirinõ (2004), as construções são responsáveis por 40% do consumo de materiais, 20% do consumo de água e 35% do de energia, além de produzir 30% de lixo sólido. No Brasil, as construções consomem 44% da energia gasta no país, sendo distribuídas de acordo com o gráfico apresentado na Figura 1.

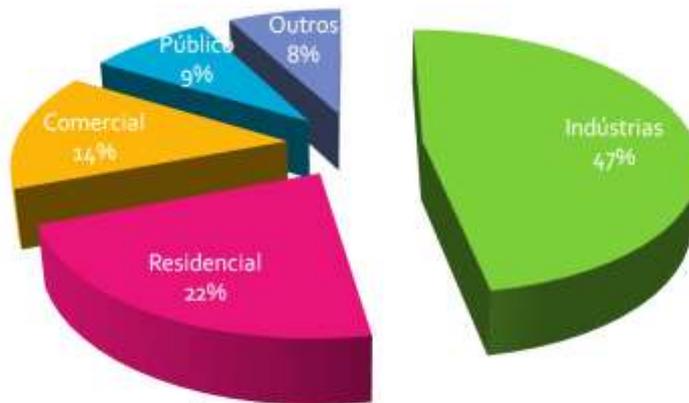


Figura 1. - Eficiência Energética nas Edificações (Meiriño 2004).

### 1.1 – Objetivo

A partir dos modelos de certificação de construções, este trabalho propõe desenvolver uma modelagem para a avaliação do grau de sustentabilidade de edificações, utilizando métodos de superclassificação, em especial os métodos das famílias ELECTRE.

### 1.2 – Sistemas de Avaliação Ambiental

Os sistemas de avaliação ambiental de edifícios, tiveram seu surgimento impulsionados pelas metas ambientais estabelecidas na *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED) em 1992 no Rio de Janeiro (Silva, 2003).

Quanto aos seus objetivos, os sistemas de avaliação classificam em: ferramentas que dão suporte a concepção de edifícios; sistemas que avaliam os ciclos de vida dos materiais e produtos de construção e sistemas para reconhecimento e avaliação de uma construção sustentável.

Enquanto o Brasil não desenvolve o seu selo próprio, abre espaço para a entrada de instrumentos com grande penetração no mercado internacional, que muitas

vezes não atende a realidade, apesar de estar desenvolvendo um modelo próprio, ainda em fase de implantação, baseado em eficiência energética.

Algumas das dificuldades na avaliação ambiental de edificações residem nas características próprias do setor como a multidisciplinaridade, processos produtivos muito variados, durabilidade variável, a variabilidade do fator usuário que influem nos resultados do desempenho da edificação, entre tantos outros. Por tais circunstâncias é complexo se chegar a um modelo de avaliação aceitável e válido para qualquer parte do mundo.

A avaliação completa de uma construção sustentável demandaria uma análise de uma diversidade muito grande de parâmetros e indicadores, tendo em vista a alta complexidade do produto edificação. Em função disto percebe-se nos sistemas existentes tendência a simplificação, abordando a questão da sustentabilidade de uma forma mais holística priorizando cada qual a sua maneira aspectos que julgue mais relevantes a realidade onde se aplica. (BRAGANÇA e MATEUS, 2006).

O objetivo da avaliação da sustentabilidade é reunir dados e reportar informação que servirão de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício (BRAGANÇA e MATEUS, 2006).

Os parâmetros que os compõem geralmente objetivam: otimização do potencial do local, preservação da identidade regional e cultural, minimização do consumo de energia, proteção e conservação dos recursos de água, utilização de materiais e produtos de baixo impacto ambiental, adequada qualidade do ambiente interior e otimização das fases de operação e manutenção.

As preocupações com os impactos ambientais gerados pelos edifícios, durante as fases de planejamento e construção, ou durante a operação, são cada vez maiores. Tanto que já existem vários selos internacionais para verificar os recursos consumidos, as emissões de carbono e os resíduos gerados pelas edificações, bem como o conforto e a saúde das pessoas que convivem ali. Para isso, é feita uma avaliação sobre o grau de sustentabilidade dos edifícios, baseada em critérios específicos de cada selo.

## **LEED - LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN**

O LEED é um sistema norte-americano de avaliação de desempenho ambiental de edifícios. Para receber a certificação LEED, uma construção deve observar um conjunto de 69 critérios.

## **AQUA – ALTA QUALIDADE AMBIENTAL / FUNDAÇÃO VANZOLINI**

Para obter a certificação o empreendedor da construção deve estabelecer o controle total do projeto em todas as suas fases - Programa, Concepção (Projeto), Realização (Obra) e Operação (Uso), por meio do sistema de Gestão do empreendimento (SGE), para que sejam atendidos os critérios de desempenho da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). A certificação é concedida ao final de cada fase, mediante verificação de atendimento ao Referencial Técnico.

O AQUA é o primeiro selo que levou em conta as especificidades do Brasil para elaborar seus 14 critérios - que avaliam a gestão ambiental das obras e as especificidades técnicas e arquitetônicas. São eles:

### Eco-construção

- relação do edifício com o seu entorno; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos e canteiro de obras com baixo impacto ambiental.

### Gestão

- da energia; da água; dos resíduos de uso e operação do edifício e manutenção: permanência do desempenho ambiental.

### Conforto

- higrotérmico; acústico; visual e olfativo.

### Saúde

- qualidade sanitária dos ambientes; do ar e da água.

## **PROCEL EDIFICA**

Tem como objetivo postergar investimentos em novos projetos de geração de energia economizando divisas para o País e minimizando os impactos negativos ao meio ambiente.

A exemplo do que já ocorre com eletrodomésticos, o Selo Procel Edifica irá certificar projetos que prevêm redução de consumo e uso de energias alternativas, estimulando a adoção de ações nesse sentido. Aplicado a prédios residenciais, públicos e de serviços.

### **1.3 – Auxílio Multicritério à Decisão - AMD (Método ELECTRE)**

A modelagem de problemas de decisão baseada no emprego de métodos multicritério têm tido crescente difusão com o aumento do interesse pelo tema Auxílio Multicritério à Decisão (AMD). No entanto, é possível observar uma crescente polêmica em torno de temas como reversão de ordem ou de intransitividades associadas ao emprego destes métodos. Uma das causas destas polêmicas pode ser associada ao não entendimento do fundamento do conceito de superclassificação por parte de alguns críticos aos métodos de AMD. Este cenário reforça a importância deste tema, que busca revisar a definição do conceito superclassificação, realçando aspectos relevantes do mesmo no âmbito das polêmicas supracitadas.

#### **1.3.1 – Conceito de Superclassificação**

Em função do tipo de relação de preferência, os critérios são classificados em três categorias: critério verdadeiro; semi-critério; e, pseudo critério. A seguir descrevem-se as relações de preferência para cada uma das categorias apresentadas acima. Para tal considere:

- a, b e c: alternativas genéricas pertencentes ao conjunto de alternativas **A**.
- $c_j$ : j-ésimo critério pertencente ao conjunto de critérios **F**.
- $g_j(a)$ : desempenho da alternativa a À luz do

- critério  $c_j$ .

Uma relação de subordinação é denotada por  $aSb$ , lida como  $a$  superclassifica  $b$  (usualmente, nos textos que tratam desta relação escritos na língua portuguesa, são utilizados os termos: domina, supera e, subordina). É relevante registrar que, embora as palavras “subordina”, “superclassifica” e “domina” possam sugerir racionalidade transitiva. A relação  $aSb$  não é transitiva.

Mesmo nos casos de adoção de critérios verdadeiros para a definição de relações de preferência, as relações de subordinação não são transitivas, como será explicitado ao longo deste texto.

Para compreender o significado da relação de superclassificação e aceitar que a mesma não seja transitiva é importante ter em mente o conceito associado a esta relação no âmbito do Auxílio Multicritério à Decisão.

A conceituação mais usual apresentada na língua portuguesa é a seguinte:

*“Uma alternativa **a** superclassifica uma alternativa **b**, se ao se avaliar os desempenhos destas duas alternativas à luz do conjunto de critérios é aceitável afirmar **a** é pelo menos tão boa quanto b.”*

Uma outra conceituação para a superclassificação encontrada, raramente, nos textos escritos na língua portuguesa é:

*“Uma alternativa **a** superclassifica uma alternativa **b**, se ao se avaliar os desempenhos destas duas alternativas à luz do conjunto de critérios é aceitável afirmar **a** não é pior do que b.”*

Estas duas definições, embora possam parecer a primeira vista idênticas, apresentam diferenças sutis. Sendo que, ao se tomar por base a definição das relações de preferência nos métodos ELECTRE, a segunda definição é mais fiel a modelagem do conceito de superclassificação.

Na realidade, uma aproximação mais fiel à modelagem deveria considerar a tradução da palavra *surclassement* (originalmente empregada) como superposição ou abrangência. Ou seja:

*“Uma alternativa **a** superclassifica uma alternativa **b**, se ao se avaliar os desempenhos destas duas alternativas à luz do conjunto de critérios é aceitável afirmar que **a** superpõe ou abrange ou engloba as habilidades de **b**, considerando um conjunto de critérios.”*

O não entendimento deste conceito causa sérios problemas na análise e interpretação dos resultados, principalmente a análise dos efeitos de reversão de ordem e de intransitividade.

No âmbito dos métodos ELECTRE a subordinação é baseada em duas medidas de grau de concordância com a afirmação de que **a** superclassifica **b** e grau de rejeição ou discordância com esta afirmação. O grau de concordância é denotado por **C(a,b)**, já o grau de discordância é denotado por **D(a,b)**. No caso dos métodos ELECTRE III, IV e TRI estas duas métricas são combinadas em uma terceira métrica denominada Grau de Credibilidade, a qual é denotada por  **$\sigma(a,b)$** .

O cálculo do grau de concordância para os métodos ELECTRE I e II baseiam-se em critérios verdadeiros e estão publicados em textos como Roy (1968), Roy e Bertier (1971), Roy e Boyssou (1985), Vincke (1989), Vincke (1992).

Já o cálculo desta métrica para os métodos ELECTRE III, IV, TRI e IS baseiam-se em pseudo critérios, como pode ser observado nos trabalhos de Roy (1978), Roy e Skalka (1984), Roy e Skalka (1985), Vincke (1989), Yu (1992), Roy (1996), MOUSSEAU *et al.* (2000), Grigoroudis e Siskos (2001) e Politis e Siskos (2004).

## **2 – METODOLOGIA**

Para atingir aos objetivos propostos, a metodologia que será utilizada consiste inicialmente em uma pesquisa bibliográfica identificando na literatura especializada os principais critérios de sustentabilidade no âmbito de unidades habitacionais, comerciais ou industriais, a definir. Esta revisão terá como foco as bases Scopus, Engineering Village e ISI of knowledge, acessadas através do portal de periódicos da CAPES.

Com base na revisão bibliográfica, será efetuada a seleção de um conjunto de critérios para a avaliação da sustentabilidade das edificações, dando respaldo para a seleção dos empreendimentos representativos para a avaliação à luz desse conjunto de critérios.

Após esses estudos e definições, será aplicado o método ELECTRE para a obtenção da classificação do grau de sustentabilidade destes empreendimentos. Este método consiste principalmente na relação de concordância e discordância (também denominado rejeição), na avaliação das alternativas à luz dos critérios.

### - Cálculo dos graus de Concordância

Analisando-se de forma conjunta o cálculo do grau de aceitação ou concordância nos métodos que compõe a família ELECTRE, é possível afirmar que nos métodos destas famílias, a aceitação ou concordância com a afirmação de **aSb** pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$C(a,b) = \frac{1}{\sum_1^m w_j} \cdot \sum_1^m c_j(a,b) \cdot w_j \quad [1]$$

Nesta equação:

a, b : alternativa s genéricas

m : número de critérios

j: j - ésimo critério

w<sub>j</sub> : grau de importância (ou peso) do j - ésimo critério

c<sub>j</sub>(a, b): grau de concordância com a afirmação de que a é preferível a b no critério j. Também é denotado por concordância local no critério j.

O cálculo da concordância local c<sub>j</sub>(a,b) varia de acordo com o método, conforme descrito a seguir.

### **Graus de concordância para os métodos ELECTRE que adotam o conceito de critério verdadeiro**

Nos métodos ELECTRE I e II a fórmula de cálculo do grau de concordância induz a classificação deste métodos no grupo daqueles que adotam o conceito de

critério verdadeiro<sup>1</sup>. A concordância local para estes dois métodos é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{se } g_j(a) \geq g_j(b) \\ 0, & \text{se } g_j(a) \leq g_j(b) \end{cases} \quad [2]$$

Vale registrar que há autores que indicam e que o método ELECTRE II utiliza o conceito de semi critério. Na realidade o ELECTRE II, faz uma relaxação no momento da construção da relação de subordinação, mantendo a mesma forma adotada pelo ELECTRE I para o cálculo do grau de concordância. Assim, na visão do autor do presente texto, o relaxamento do ELECTRE II não é suficiente para categorizá-lo no grupo que adota o conceito de pseudo-critério ou até mesmo semi critério.

De qualquer forma, é importante registrar que tanto para o ELECTRE I, quanto para o ELECTRE II, o cálculo do grau de concordância é feito pela adoção da expressão [2].

### **Graus de concordância para os métodos ELECTRE que adotam o conceito de pseudo-critério**

Para os Métodos *ELECTRE III, IV, TRI e IS*, que são baseados no conceito de pseudo critérios, o grau de concordância é calculada em acordo com a seguinte expressão:

$$c_j(a,b) = f_j(g_j(a)) = \frac{p_j(g_j(a)) - \min[(g_j(b) - g_j(a)), p_j(g_j(a))]}{p_j(g_j(a)) - \min[(g_j(b) - g_j(a)), q_j(g_j(a))]} \quad [3]$$

### **- Cálculo dos graus de Discordância**

O grau de discordância  $D(a,b)$ , adotado apenas nos métodos ELECTRE, busca ilustrar a rejeição à afirmação de que uma alternativa **a** superclassifica outra **b**.

---

<sup>1</sup> Esta classificação não está em acordo com a classificação proposta em Vincke (1989), que indica que o ELECTRE II usa o conceito de semi critério.

Ou seja: rejeita a afirmação de que **aSb**. Alguns aspectos importantes desta métrica devem ser destacados:

- A discordância não é complementar a concordância.
- Esta métrica é adotada apenas nos métodos da família ELECTRE.
- Assim como no cálculo da concordância há diferenças no cálculo das discordâncias ao se adotar critérios verdadeiros ou pseudo-critérios.

A seguir são apresentadas as expressões adotadas para ao cálculo do grau de discordância  $D(a,b)$ .

### **Graus de discordância ao se adotar critérios verdadeiros**

Dentre os métodos que se baseiam em critérios verdadeiros, os métodos ELECTRE I e II adotam o conceito de discordância na relação de superclassificação entre duas alternativas. Neste âmbito, há duas expressões que são adotadas para o cálculo da discordância. Essas expressões são aqui denotadas por A e B.

#### **Expressão A:**

$$D(a,b) = \max \left[ \frac{(g_j(b) - g_j(a))}{\delta_j}, 0 \right] \quad j = 1, m$$

Onde:  $\delta_j$  representa a máxima variação de desempenho ocorrida no  $j$ -ésimo critério.

#### **Expressão B:**

$$D(a,b) = \frac{1}{\delta_{\max}} \max \left[ (g_j(b) - g_j(a)), 0 \right] \quad j = 1, m$$

Onde:  $\delta_{\max}$  é maior valor encontrado dentre todos os  $\delta_j$  calculados,.

$$\text{Ou seja: } \delta_{\max} = \max(\delta_j) \quad j = 1, m$$

Observa-se que no caso em que uma alternativa  $a$  tenha um desempenho inferior ao de  $b$  em todos os critérios, ter-se-á  $D(a,b) = 0$ , pois  $(g_j(a))$  será maior do que  $(g_j(b))$  em todos os critérios.

As duas expressões (A e B) apresentam resultados convergentes ou próximos, quando o valor os valores máximos para as diferenças de desempenho das alternativas guarda homogeneidade entre os critérios. Ou seja: estes valores não variam muito de um critério para outro.

A segunda expressão confere uma espécie de “poder de veto” ao critério que apresentar o maior  $\delta$ . Visto que o grau de discordância funcionará como uma veto a afirmação de que  $a \succ b$ . Assim caso haja um critério com um valor  $\delta$ . muito maior do que os demais critérios, a influência dos demais critérios será minimizada, pois o valor das discordâncias porventura existentes nestes critérios será diluída pelo valor  $\delta_{\max}$ .

### **Graus de discordância ao se adotar critérios verdadeiros**

Dentre os métodos que se baseiam em pseudo critérios, os métodos ELECTRE II, IV, TRI e IS adotam o conceito de discordância na relação de superclassificação entre duas alternativas.

Neste âmbito, o cálculo da discordância é feito para cada critério<sup>2</sup> e incorpora de forma explícita o conceito de “veto”. A expressão para o cálculo o grau de discordância com a afirmação de que  $a$  superclassifica  $b$  é apresentada a seguir.

---

<sup>2</sup> Diferentemente do caso em que se lida critérios verdadeiros, no qual a discordância é calculada considerando, simultaneamente, o conjunto de critérios.

$$D(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{quando } g_j(a) > g_j(b) - p_j(g_j(b)) \\ \frac{(g_j(b) - g_j(a)) - p_j(g_j(b))}{(v_j(g_j(b)) - p_j(g_j(b)))}, & \text{quando } g_j(b) - v_j(g_j(b)) \leq g_j(a) \leq g_j(b) - p_j(g_j(b)) \\ 1, & \text{quando } (g_j(b)) \geq v_j(g_j(b)) + (g_j(b)) \end{cases}$$

### 3 – RESULTADOS ESPERADOS

Baseado na metodologia estudada espera-se a construção e validação de um modelo inédito para a avaliação do grau de sustentabilidade de edificações.

#### 4 – REFERÊNCIAS

- BERTOLINI, M.; et al . . Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management* 24 (2006) 422–430.
- DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Multicriteria decision model for outsourcing ontracts selection based on utility function and ELECTRE method. *Computers & Operations Research* 34 (2007) 3569 – 3574
- DIAS, Luís; et al . . An aggregation/disaggregation approach toobtain robust onclusions with ELECTRE TRI. *European Journal of Operational Research* 138 (2002) 332–348.
- FIGUEIRA, José; et al . . Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research* 139 (2002) 317–326.
- GEORGOPOULOU, E.; et al . A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research* 103 (1997) 58–54.
- GOULART, S., LAMBERTS, R. e FIRMINO, S. (1997). Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras, PW ed., São Paulo.
- LEYVA-LÓPEZ, Juan Carlos; et al . A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. *European Journal of Operational Research* 148 (2003) 14–27.
- MAJID, Behzadian; et al . PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200 (2010) 198–215.
- MEIRIÑO, Marcelo J. Arquitetura e sustentabilidade. *Arquitextos. Vitruvius. Texto Especial* 227, abril 2004. disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp227.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2010.
- MEIRIÑO, Marcelo J. Eficiência Energética nas Edificações. CREA-MT : 2004. Disponível em: [www.crea-mt.org.br/palavra\\_profissional.asp?id=10](http://www.crea-mt.org.br/palavra_profissional.asp?id=10). Acesso em: 13 Jun. 2010.
- MOUSSEAU, V.; et al . A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. *Computers & Operations Research* 27 (2000) 757}777.
- NORESE, Maria Franca. ELECTRE III as a support for participatory decision-making on the localisation of waste-treatment plants. *Land Use Policy* 23 (2006) 76–85.

PROCEL: Programa nacional de conservação de energia elétrica. Eletrobrás.  
Disponível em: <[http://www.procel.gov.br/procel/site/areadeatuacao/residencias\\_apresentacao.asp](http://www.procel.gov.br/procel/site/areadeatuacao/residencias_apresentacao.asp)>. Acesso em: 13 jun. 2010.