

## VI-210 - MÉTODO TOPSIS E AHP PARA TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: ESCOLHA DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL SUSTENTAVEL

**Fabio José Strieder<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

**Juan Carlos Valdés Serra<sup>(2)</sup>**

Professor adjunto IV do Curso Eng. Ambiental / Universidade Federal do Tocantins. Palmas-TO.

**Fernán Enrique Vergara Figueroa<sup>(3)</sup>**

Professor adjunto IV do Curso Eng. Ambiental / Universidade Federal do Tocantins. Palmas-TO.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 106 Norte alameda 14 lote 28, Plano Diretos Norte- Palmas-Tocantins CEP: 77.006-076 - Brasil - Tel: (63) 32152482 - e-mail: [fabio.strieder@hotmail.com](mailto:fabio.strieder@hotmail.com)

### RESUMO

No século XXI o mundo assiste a crescente preocupação em torno da sustentabilidade e da eficiência de toda a cadeia de produção, fazendo assim necessária a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias menos agressivas ao meio natural – ar, solo e água. Essa necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas à sustentabilidade de suas atividades. Com o crescimento das alternativas existentes, surge a necessidade de tomada de decisão visando a escolha de alternativas mais sustentáveis de acordo com as singularidades das condições ambientais, sociais e econômicas de cada região. Assim este trabalho teve como objetivo a aplicação e avaliação dos métodos de tomada de decisão multicritérios TOPSIS e AHP na classificação de materiais sustentáveis para a construção civil. Na metodologia aplicada foram desenvolvidos a partir da literatura critérios nos âmbitos ambiental, social e econômico, onde, com a participação de profissionais na valoração dos critérios e do desempenho, foram avaliados os materiais para a alvenaria das edificações através dos métodos multicritério, os quais se mostraram eficientes na avaliação, classificando o Tijolo Solo-Cimento, seguido do Tijolo Cerâmico, o Tijolo de Concreto e a Placa Pré-moldada como mais sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais Construção Civil, Sustentabilidade, TOPSIS, AHP.

### INTRODUÇÃO

No século XXI o mundo assiste a crescente preocupação em torno da sustentabilidade e da eficiência de toda a cadeia de produção, fazendo assim que seja necessária a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias menos agressivas ao meio natural – ar, solo e água.

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades. A construção de uma casa que minimize os impactos ambientais negativos com o melhor aproveitamento dos recursos naturais, racionalização do uso da energia e utilização de tecnologias que permitam economia de água é uma opção que se insere no que habitualmente é chamado de construção sustentável, possibilitando construir com o uso de materiais e tecnologias que melhorem a condição de vida do morador e não agredam tanto o meio ambiente.

Com esse enfoque, o crescente interesse por alternativas construtivas sustentáveis, surge uma gama de pesquisas em torno de materiais e tecnologias buscando um espaço no mercado da construção civil.

Com o surgimento de variadas alternativas, a tomada de decisão vem se tornando relevante na escolha adequada de acordo com as singularidades das condições ambientais, sociais e econômicas de cada região.

Nos anos 80 surgiu o trabalho de Saaty (1980) com a criação do *Analytic Hierarchy Process* – (AHP), que apresentou novos conceitos de avaliação, envolvendo a extração de conhecimentos e experiências dos decisores convidados a se manifestarem por meio de notas de avaliação para determinadas situações.

Para o auxílio da tomada de decisão alguns trabalhos utilizando os métodos multicritérios foram identificados na literatura. Por exemplo, Kirby (2001) utilizou o método *Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution* – (TOPSIS) para avaliar possibilidades de tecnologias para desenvolvimento de projetos no setor de aeronáutica. Lai et al. (1994) utilizaram este método na área de gestão dos recursos hídricos, em um problema de seleção de alternativas de tratamento de esgotos. Essa aplicação é realizada utilizando-se variáveis contínuas.

A necessidade da tomada de decisões apresenta particularidades que variam de acordo com os cenários e ambientes em que as decisões têm de ser tomadas. Assim, a tomada de decisão passa a ser o objeto dos problemas tratados nos métodos de apoio à decisão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados visando a escolha de materiais de construção sustentáveis, para isto foi necessário:

- 1) Avaliar materiais existentes;
- 2) Definição de Critérios;
- 3) Consulta a Especialistas (arquitetos e engenheiros civis);
- 4) Escolha de métodos multicritérios;
- 5) Obtenção de dados;
- 6) Descrição dos métodos adotados no estudo.
- 7) Aplicação e análise dos resultados

### 1. Materiais existentes para construções

A busca por literatura foi realizada através de artigos publicados, material disponível em meio digital e conhecimento adquirido em campo.

O agrupamento de informações limitou-se a escolha de materiais para construção das paredes da edificação tendo em vista a aplicação e análise do método de multicritério, uma vez que, para a avaliação dos demais componentes da construção seguiriam a mesma metodologia empregada, apenas com mudanças das alternativas, dados obtidos e possivelmente alguns dos critérios selecionados.

Neste cenário, foram escolhidos para a aplicação da metodologia os materiais citados na revisão de literatura, por estes, estarem presentes no mercado e serem amplamente conhecidos pelos profissionais da área.

### 2. Definição dos critérios

Critérios ou indicadores são atributos que podem ser quantificados ou avaliados para auxiliar o processo de tomada de decisão. De acordo com Castro (2002) a definição dos critérios devem ser práticos e úteis, considerando, segundo Junqueira (2005), relevância técnica, bem como a sua capacidade de compartilhamento nos níveis local, regional e nacional.

Para a definição dos critérios foram considerados também, de acordo com Michael (2007), o grau de sustentabilidade em múltiplos níveis para que gerassem a inter-relação dos subsistemas. Que fosse relativo à função do campo ideológico ambiental, econômico e social, dentro das perspectivas de curto, médio e longo prazo. Onde segundo Bell e Morse (2003), um empreendimento para ser sustentável necessita atender a quatro requisitos: ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito.

Para isso, um amplo levantamento de literatura, consultas diretas a profissionais atuantes no mercado e considerações referentes aos métodos de certificação para edifícios sustentáveis, foram adotados critérios, englobando alguns aspectos considerados relevantes na obtenção de uma construção sustentável. Considerando a complexidade das inter-relações entre os sistemas e os subsistemas que envolvem uma edificação e o seu contexto construtivo, foram determinados critério dentro dos aspectos ambientais, sociais e econômicos da cidade de Palmas Tocantins, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Critérios utilizados no trabalho.

Âmbito	Critérios
Ambiental	Conforto térmico-acústico
	Impactos na extração dos recursos naturais
	Energia Embutida
	Geração de resíduos
Sociais	Informalidade da mão de obra
	Aceitação do mercado
	Mão de obra qualificada
Econômico	Custo do material
	Custo com Mão de obra
	Incentivos Fiscais e econômicos

**I) Âmbito Ambiental** – O conhecimento dos aspectos dos materiais com o meio ambiente, utilizados em uma construção são determinantes no desempenho de diversas funções a ele atribuído com relação às condições em que está submetida, garantindo assim um desempenho satisfatório, além de contemplar fatores ligados diretamente às relações entre o homem e o meio, como: a capacidade suporte e os recursos naturais e conseqüentemente aos impactos gerados pela atividade, tendo em vista a necessidade de matéria prima e a potencialidade da geração de resíduos.

i) **Conforto Térmico-Acústico:** refere-se à capacidade do material em estabelecer uma barreira à passagem do calor entre dois meios que naturalmente tenderiam rapidamente a igualarem suas temperaturas, interferindo diretamente na eficiência energética do sistema e o isolamento acústico ou sonoro é a não passagem de som de um ambiente para outro, que consigam amortecer e dissipar a energia sonora, garantindo assim um maior conforto ao ambiente.

ii) **Impactos na extração dos recursos naturais:** A disponibilidade de recursos naturais é um aspecto quantitativo dos problemas ambientais do uso de recursos e, além destes, deve-se considerar ainda os aspectos qualitativos, que interferem na qualidade ambiental, como os impactos na extração de recursos naturais.

iii) **Energia Embutida:** Diz respeito a energia embutida no material, desde a extração, durante a produção dos diferentes materiais utilizados até a execução da obra.

iv) **Geração de resíduos:** Avalia a geração de resíduos gerados durante a construção, devido a não conformidade, a quebra e ao manuseio dos materiais empregados.

**II) Âmbito Social** – O aspecto social na seleção de materiais é fator importante para a sustentabilidade de edificações, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, onde a informalidade de alguns setores de produção de materiais é significativa. Outro fator relevante aos aspectos sociais da população envolvida direta ou indiretamente nos diferentes processos da construção civil, reforça a sustentabilidade do empreendimento no que se refere a capacidade da mão de obra local e regional existente, assim como a aceitação das técnicas e tecnologias empregadas.

i) **Informalidade da Mão de Obra:** Diz respeito à informalidade que pode ocorrer na extração de recursos, produção, comercialização e execução da obra, o que acarreta: evasão fiscal, desrespeito aos direitos dos trabalhadores ocasionando um cenário negativo ao acesso a capital, inclusão social, aos níveis de saúde e bem estar, a elevação dos níveis de educação e conscientização e integração social.

ii) **Aceitação do mercado:** Refere-se a como o mercado vê a utilização dos diferentes materiais na construção civil no que abrange a confiabilidade, a resistência às novas tecnologias, assim como o grau de comodismo do tradicional.

iii) **Mão de Obra:** Diz respeito ao nível de capacitação da mão de obra existente no mercado local e regional assim como a capacidade de incorporação e da não resistência de novas técnicas no dia-a-dia de trabalho.

**III) Âmbito Econômico** - A inclusão de aspectos econômicos durante a seleção de materiais de construção é praticamente obrigatória, pois é primordial nas tomadas de decisão relativas à implantação de edificações, no que abrange a seleção de materiais assim como o custo da mão de obra e os incentivos fiscais oferecidos pela utilização de determinado material.

**i) Custo do Material:** avalia o custo do material no cenário mercadológico, onde estão inclusos o custo com a compra direta propriamente dita, assim como, o custo com transporte da aquisição até o canteiro.

**ii) Custo com mão de Obra:** refere-se ao custo de implantação do material escolhido de acordo com a qualificação necessária da mão de obra, tempo de construção e aquisição de ferramentas.

**iii) Incentivos fiscais e econômicos:** diz respeito à existência de linhas de financiamento, políticas e programas que incentivam a utilização dos materiais em questão, o que pode afetar diretamente o custo da edificação.

### 3. Consulta a especialistas

Neste trabalho optou-se por consultar especialistas com o intuito de atribuir pesos (valor de importância) aos critérios selecionados para o estudo.

O grupo selecionado para participar no trabalho foi composto por profissionais locados na cidade de Palmas tendo em vista a origem dos mesmos serem de diferentes regiões do País atingindo um grau local, regional e nacional, que possuem conhecimentos sobre o caso de estudo. Ao todo foram consultados 20 especialistas.

O contato com os especialistas foi realizado de duas formas: via internet (e-mail) e pessoalmente.

A participação dos selecionados deu-se por meio do preenchimento de um questionário (ANEXO II), que continha uma escala de pontuação que variava de 1 a 4 como pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2. escala de pontuação dos pesos (valor de importância).**

ESCALA VERBAL	VALOR NUMERICO
MUITO ALTO	4
ALTO	3
MEDIO	2
BAIXO	1

Após o preenchimento do questionário por cada especialista, procedeu-se a tabulação dos dados e, em seguida, o cálculo da média aritmética simples dos pesos para cada critério.

### 4. Escolha de métodos multicritérios

Neste trabalho foram escolhidos dois métodos diferentes de análise multicritério sendo o Método de TOPSIS e o AHP.

O método TOPSIS foi escolhido pela sua simplicidade de aplicação, fácil compreensão dos resultados gerados e também a vantagem de rapidamente identificar a melhor alternativa, no que se refere ao coeficiente de similaridade (OLLAGUEZ, 2006).

O método AHP foi escolhido porque segundo Gomes (2004), o AHP é um dos primeiros métodos multicritérios desenvolvidos, e talvez o mais usado no mundo.

### 5. Obtenção dos dados

A forma de obtenção dos dados contou novamente com a participação de especialistas e profissionais, principalmente pessoas ligadas ao mercado da construção civil, mediante entrevistas, reuniões e aplicação de questionários com arquitetos e engenheiros da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente e Habitação-SEDUMAH da Cidade de Palmas-TO, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Tocantins – IFTO, Sindicato da Indústria de Construção Civil do Estado do Tocantins - SINDUSCON, da Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano do estado do Tocantins - SEH DU e a Secretaria da Infra-Estrutura do Estado do Tocantins – SEINF.

Os questionários aplicados foram elaborados visando a identificação do desempenho dos materiais empregados nas paredes de uma edificação frente aos critérios selecionados.

Onde foram avaliados 10 critérios dentro dos âmbitos: ambiental, social e econômico, adaptados de estudos realizados por Michael (2007), onde cada critério tinha cinco opções, devendo ser selecionada a opção que melhor correspondesse às características dos materiais em questão.

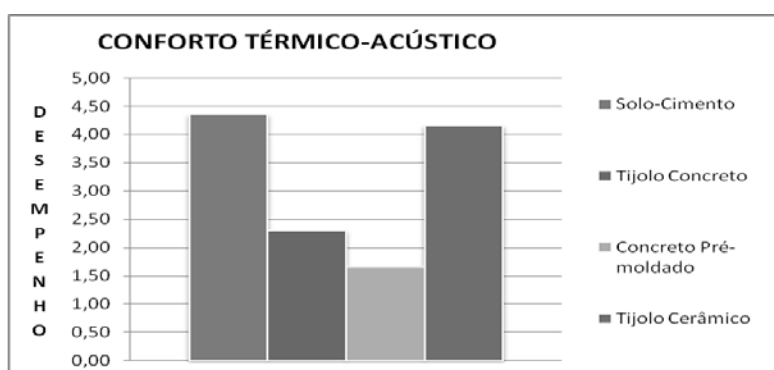
## RESULTADOS

### 1. Valoração dos Critérios

Os dados apresentados correspondem aos aspectos: Ambiental, Social e Econômico.

#### 1.1 Aspecto Ambiental

Neste Aspecto ou Âmbito, as abordagens consistiram em abordar quatro critérios: Conforto Térmico e Acústico, Impactos na Extração dos Recursos Naturais, Energia Embutida, e a Geração de Resíduo, conforme gráfico 1.



**Gráfico 01. Desempenho dos materiais no critério conforto Térmico-Acústico.**

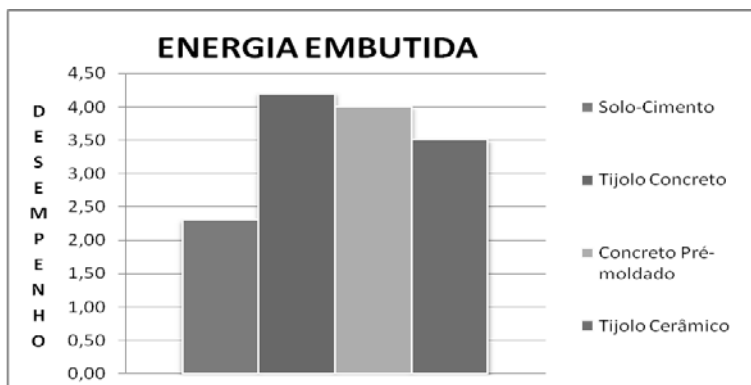
Pode-se observar no gráfico 01, que o desempenho dos materiais no critério conforto térmico e acústico foi satisfatório para o solo-cimento e o tijolo cerâmico enquanto o tijolo de concreto e a placa pré-moldado de concreto tiveram um desempenho de insatisfatório a inadequado. Esse resultado deve-se ao fato de que esses dois materiais são constituídos basicamente de cimento que devido às suas características físicas desfavorecem o isolamento térmico-acústico.

Em relação ao critério Impactos na extração dos recursos naturais, como pode ser observado no gráfico 02, com exceção do tijolo Solo-Cimento que teve um desempenho de baixo grau impactante, todos os materiais apresentaram um alto grau impactante na extração dos recursos. Isso pode ser evidenciado devido ao solo-cimento ser produzido no local da obra utilizando o próprio solo do local da obra ao contrário dos outros materiais que são extraídos as argilas de jazidas no caso do tijolo cerâmico e a degradação ambiental na extração da matéria prima para produção de cimento.



**Gráfico 02. Desempenho dos materiais no critério Impactos na Extração dos Recursos Naturais.**

Fato semelhante ocorreu com o critério Energia Embutida, no gráfico 03, onde o tijolo solo-cimento possui baixo nível de energia embutida, pois, não necessita de queima na sua produção, ao contrario dos outros materiais que na sua cadeia produtiva passam por um alto consumo energético seja pela queima no caso do tijolo cerâmico ou pelo processamento da rocha para a produção de cimento.



**Gráfico 03. Desempenho dos materiais no critério Impactos na Extração dos Recursos Naturais.**

No critério Geração de Resíduo, como pode ser visto no gráfico 04, o tijolo cerâmico tem um elevado nível de desperdício durante a construção, seguido do tijolo de concreto e da placa pré-moldada com baixo nível de desperdício e o solo-cimento com baixíssimo nível de desperdício. Os dados se justificam pelo fato da cidade de palmas não ter reciclagem desse material, no caso do tijolo cerâmico, já a placa pré-moldada devido a conformidade dos materiais os projetos são executados prevendo a minimização do desperdício, já o tijolo solo-cimento pode ser novamente moído e prensados novamente.



**Gráfico 04. Desempenho dos materiais no critério Geração de Resíduo.**

## 1.2 Aspecto Social

Neste Aspecto ou Âmbito, as abordagens consistiram em abordar três critérios: A informalidade da Mão de Obra, Aceitação do Mercado, e a Mão de Obra qualificada.

No critério Informalidade da Mão de Obra, gráfico 05, o tijolo solo-cimento e o cerâmico tiveram um altíssimo nível de informalidade considerando a extração da matéria prima, a produção, a comercialização e a execução da obra, enquanto os materiais tijolo de concreto e a placa pré-moldada tiveram um nível de moderado a baixo, isso se deve a industrialização do mercado do concreto.



**Gráfico 05. Desempenho dos materiais no critério Informalidade da Mão de Obra.**

No critério Aceitação do Mercado, gráfico 06, o Tijolo Cerâmico obteve altíssimo nível de aceitação, seguido do tijolo de concreto com moderada aceitação e o tijolo solo-cimento e a placa pré-moldada tiveram uma aceitação baixa e baixíssima. Isso é explicado devido a uma tendência cultural e ao fato do pioneirismo do tijolo cerâmico no mercado da construção civil, outro fato importante diz respeito aos investimentos da indústria cimentíssia no mercado justificando a aceitação do tijolo de concreto como segundo colocado no critério, no caso do tijolo solo-cimento ainda existe uma certa resistência devido a falta de estudos sobre algumas características e a placa de concreto por apresentar características desfavoráveis em relação ao desempenho de alguns critérios como por exemplo o isolamento térmico e acústico.



**Gráfico 06. Desempenho dos materiais no critério Aceitação do Mercado.**

No caso do critério Mão de Obra Qualificada, no gráfico 07, observa-se um desempenho moderado a baixo na qualificação da mão de obra local em ambos os materiais, onde o tijolo cerâmico e o tijolo de concreto tiveram um desempenho um pouco mais elevado devido a sua maior aplicabilidade no mercado local.



**Gráfico 07. Desempenho dos materiais no critério Mão de Obra Qualificada.**



### 1.3 Aspecto Econômico

Neste Aspecto ou Âmbito, as abordagens consistiram em abordar três critérios: O Custo do Material, o Custo da Mão de Obra e a Existência de Incentivos Fiscais e Econômicos.

No critério Custo do Material, gráfico 08, o desempenho de ambos os materiais foi baixo a moderado, onde o tijolo solo-cimento foi considerado mais baixo em relação aos outros três materiais, fato esse que se justifica pelo fato do tijolo solo-cimento ser produzido no local da obra minimizando o custo com matéria-prima e gastos com energia, outro fato importante foi evidenciado por uma pequena variação do o tijolo concreto em relação ao tijolo cerâmico e a placa pré-moldada o que pode ser justificado, pois, o tijolo de concreto é fabricado em grande escala de produção, o que reduz os custos.

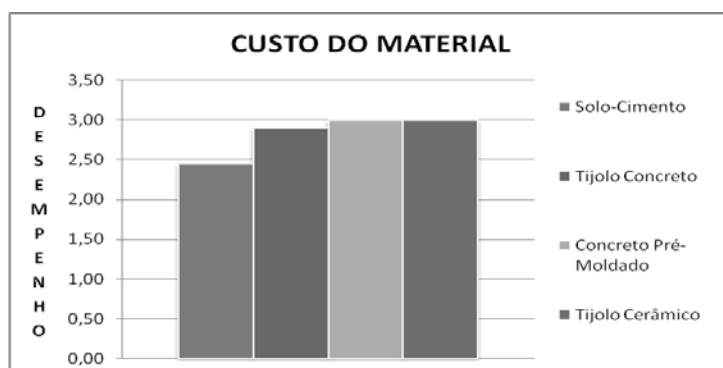


Gráfico 08. Desempenho dos materiais no critério Custo do Material.

Em relação ao critério Custo com Mão de Obra, no gráfico 09, pode ser observado um desempenho baixo a moderado dos materiais, onde, o tijolo de concreto e o tijolo cerâmico tiveram valores maiores que os outro materiais, isso se deve ao fato da necessidade de Mão de obra com uma maior qualificação, outro fato relevante é a velocidade da construção com placas pré-moldadas, o que diminui os custos, outro fato é a informalidade e o processo artesanal do tijolo solo-cimento.



Gráfico 09. Desempenho dos materiais no critério Custo da Mão de Obra.

No caso do critério Incentivos Fiscais e Econômicos, gráfico 10, o tijolo de concreto tem o melhor desempenho, seguido do tijolo cerâmico com alguns incentivos, do pré-moldado com poucos incentivos e por ultimo o tijolo solo-cimento que praticamente não recebe incentivos, isso se deve principalmente à programas governamentais como redução de impostos e ações da indústria cimentícia.





Gráfico 10. Desempenho dos materiais no critério Incentivos Fiscais e Econômicos.

#### 1.4 Pesos atribuídos aos critérios pelos especialistas

Os pesos utilizados nos dois métodos da análise multicritério foram obtidos pela aplicação do questionário em ANEXO ao grupo de profissionais selecionados. Ao todo foram respondidos 20 questionários. Considerando a coerência das respostas dos profissionais obteve-se a média aritmética simples das notas dadas, gráfico 11.

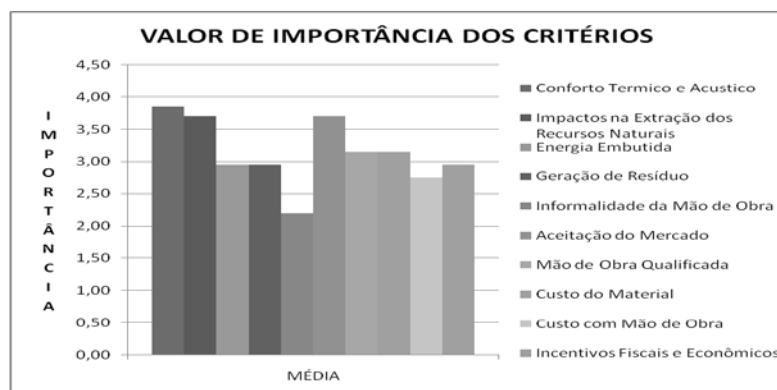


Gráfico 11. Valor de Importância dos critérios selecionados.

Como pode ser observado, os critérios com maior importância avaliados pelos profissionais foram o Conforto Térmico e acústico com a média 3,85 o que é justificado pelas altas temperaturas da cidade de Palmas-TO, os critérios Impactos na Extração dos Recursos Naturais devido ao alto grau impactante da indústria da construção civil com a média 3,70 e Aceitação do Mercado com a média 3,70, o critério com menor importância foi Informalidade da Mão de Obra com média 2,20.

#### 1.5 Resultados das metodologias multicritério

##### 1.5.1 Aplicação do Método TOPSIS

A seguir são apresentados os resultados, seguindo a sequência apresentada na metodologia.

**1º Passo:** Separação dos vetores com comportamento crescente e decrescente com relação à PIS (Solução Ideal Positiva) e a NIS (Solução Ideal Negativa), mostrado na tabela 23 e 24.

Tabela 23. Vetores com desempenho crescente.

CRITÉRIO	M.01	M.02	M.03	M.04
CONFORTO TERMICO E ACUSTICO	4,35	2,30	1,65	4,15
ACEITAÇÃO DO MERCADO	1,90	3,15	1,40	4,80
MÃO DE OBRA QUALIFICADA	2,40	2,75	2,50	2,85
INCENTIVOS FISCAIS E ECONOMICOS	1,55	3,25	1,75	2,45

**Legenda:** Linha 01: M.01 – Tijolo Solo-Cimento; M.02 – Tijolo Concreto; M.03 – Placa Pré-Moldada; M.04 – Tijolo Cerâmico.

**Tabela 24. Vetores com desempenho decrescente**

<b>CRITÉRIO</b>	<b>ALT.01</b>	<b>ALT.02</b>	<b>ALT.03</b>	<b>ALT.04</b>
IMPACTOS NA EXTRAÇÃO DOS RECURSOS	2,35	3,7	3,90	3,75
ENERGIA EMBUTIDA	2,30	4,2	4,00	3,50
GERAÇÃO DE RESÍDUO	1,65	2,75	2,15	3,70
INFORMALIDADE DA MÃO DE OBRA	3,85	2,60	2,50	4,05
CUSTO DO MATERIAL	2,45	2,90	3,00	3,00
CUSTO DA MÃO DE OBRA	2,20	2,95	2,70	2,90

**Legenda:** Linha 01: **M.01** – Tijolo Solo-Cimento; **M.02** – Tijolo Concreto; **M.03** – Placa Pré-Moldada; **M.04** – Tijolo Cerâmico.

**2º Passo:** Cálculo dos vetores dos melhores e piores valores dos critérios ( $Fj^*$ ) e ( $Fj^-$ ) para PIS e NIS. O resultado da ação é mostrado na tabela 25 e 26.

**Tabela 25. Vetores da PIS com comportamento crescente**

<b>CRITÉRIO</b>	<b><math>Fj^*</math></b>	<b><math>Fj^-</math></b>
CONFORTO TERMICO E ACUSTICO	4,35	1,65
ACEITAÇÃO DO MERCADO	4,80	2,40
MÃO DE OBRA QUALIFICADA	2,85	2,4
INCENTIVOS FISCAIS E ECONOMICOS	3,25	1,55

**Tabela 26. Vetores da NIS com comportamento decrescente**

<b>CRITÉRIO</b>	<b><math>Fi^*</math></b>	<b><math>Fi^-</math></b>
IMPACTOS NA EXTRAÇÃO DOS RECURSOS	2,35	3,90
ENERGIA EMBUTIDA	2,30	4,00
GERAÇÃO DE RESÍDUO	1,65	3,70
INFORMALIDADE DA MÃO DE OBRA	2,50	4,05
CUSTO DO MATERIAL	2,45	3,00
CUSTO DA MÃO DE OBRA	2,20	2,95

Para os resultados dos passos 3 e 4, são apresentados apenas os valores do Tijolo Solo-Cimento (M.1) com  $p=1$ , para efeito ilustrativo, uma vez que o procedimento se repete para as demais alternativas.

**3º passo:** Cálculo das distâncias com os pesos relativos dos objetivos. Os cálculos são apresentados na Tabela 27 e 28.

Tabela 27. Cálculo da distância do Tijolo Solo-cimento em relação a PIS.

	1	2	3	4	5	6	7	P=1	
CRITÉRIO	Wk	Fj*	Fj-	Fj(x) M.1	Fj* - Fj(x)	FJ* - Fj-	Fj(x) - Fj-	05/06.*Wk	7/06.*Wk
CONFORTO									
TÉRMICO E									
ACÚSTICO.	3,85	4,35	1,65	4,35	0,00	2,7	2,70	0,00	3,85
ACEITAÇÃO DO									
MERCADO.	3,70	4,8	2,4	1,90	2,90	2,4	-0,50	4,47	-0,77
MÃO DE OBRA									
QUALIFICADA.	3,15	2,85	2,4	2,40	0,45	0,45	0,00	3,15	0,00
INCENTIVOS									
FISCAIS E									
ECONÔMICOS.	2,95	3,25	1	1,55	1,70	2,25	0,55	2,23	0,72

Tabela 28. Cálculo da distância do Tijolo Solo-cimento em relação a NIS.

	1	2	3	4	5	6	7	P=1	
CRITÉRIO	Wk	Fi*	Fi-	Fi(x) M.1	F-i - Fi(x)	f-i - f*i	Fi(x) - Fi*	05/06.*wk	07/06.*wk
IMPACTOS NA									
EXTRAÇÃO DOS									
RECURSOS.	3,70	2,35	3,90	2,35	1,55	1,55	0,00	3,70	0,00
ENERGIA									
EMBTIDA.	2,95	2,30	4,00	2,30	1,70	1,7	0,00	2,95	0,00
GERAÇÃO DE									
RESÍDUO.	2,95	1,65	3,7	1,65	2,05	2,05	0,00	2,95	0,00
INFORMALIDADE									
DA MÃO DE									
OBRA.	2,20	2,50	4,05	3,85	0,20	1,55	1,35	0,28	1,92
CUSTO DO									
MATERIAL.	3,15	2,45	3,00	2,45	0,55	0,55	0,00	3,15	0,00
CUSTO DA MÃO									
DE OBRA.	2,75	2,20	2,95	2,20	0,75	0,75	0,00	2,75	0,00

Aplicando-se a fórmula apresentada obtém as distâncias PIS e NIS.

$$d_p^{PIS} = \left\{ \sum_{j \in J} W_j^P \left[ \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} W_i^P \left[ \frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{1/p}$$

$$d_p^{NIS} = \left\{ \sum_{j \in J} W_j^P \left[ \frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} W_i^P \left[ \frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{1/p}$$

Neste caso os resultados foram:

$$dPIS = 11,77$$

$$dNIS = 19,58$$

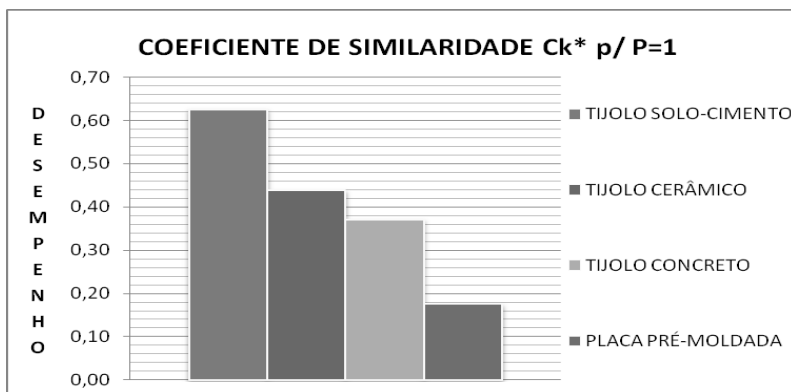
#### 4º Passo: Cálculo do Coeficiente de Similaridade – C<sub>k</sub>\*

Utilizando a equação (C<sub>k</sub>\*) obteve-se C<sub>k</sub>\* = **0,625** para o Tijolo Solo-cimento (M.1), **0,438** para Tijolo Cerâmico (M.2), **0,370** para Tijolo de Concreto (M.3) e **0,175** para a placa pré-molda (M.4), com p=1.

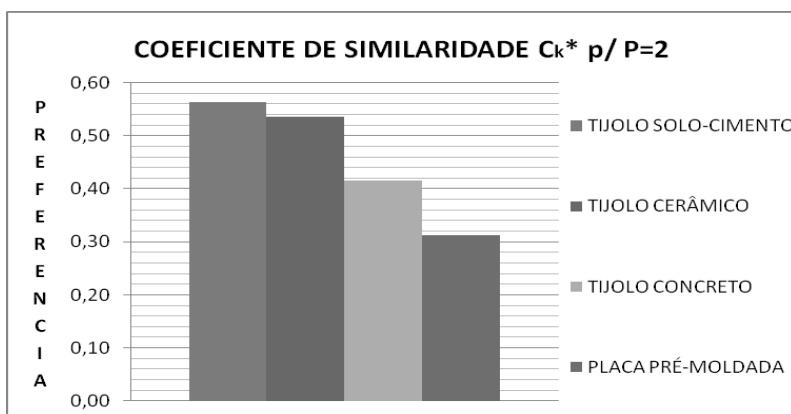
$$C_k^* = \frac{d_p^{NIS}}{d_p^{PIS} + d_p^{NIS}} \rightarrow 0 < C_k^* < 1 \leftarrow^e k = 1, 2, \dots, m$$

**5º Passo:** Ordenamento das alternativas.

Os gráficos 12 e 13, mostram respectivamente os resultados encontrados para coeficientes de similaridade de cada material e a classificação das mesmas, para dois valores de P. em ambos os casos o tijolo Solo-Cimento teve os maiores valores tanto para P=1 como para P=2.



**Gráfico 12. Classificação das alternativas utilizando o método TOPSIS para P=1.**



**Gráfico 13. Classificação das alternativas utilizando o método TOPSIS para P=2.**

Conforme o resultado apresentado pelo método TOPSIS o material que está mais próximo da solução ideal positiva com p=1 e p=2 é o Tijolo Solo-Cimento por apresentar um coeficiente com o valor de 0,55, seguido do Tijolo Cerâmico e Tijolo de Concreto. Os resultados mostram a Placa pré-moldada por apresentar nas duas simulações (P=1 e P=2) um valor mais próximo da solução ideal negativa, ou seja, com um coeficiente de similaridade baixo.

Portanto, segundo o Método TOPSIS, o material mais sustentável é o Tijolo Solo-Cimento, ressaltando que os resultados obtidos são consequência dos indicadores utilizados, juntamente com a participação dos profissionais com a atribuição dos pesos e do desempenho de cada material em relação aos critérios.

### 1.5.2 Aplicação do Método AHP

Para uma melhor formatação das tabelas adotou-se uma legenda para o nome dos materiais e outra para o nome dos critérios que estão sendo utilizadas na aplicação do método AHP, Tabela 29 e 30.

**Tabela 29. Legenda para os materiais**

<i>Material</i>	<i>Forma de Identificação</i>
Tijolo Solo-Cimento	M.01
Tijolo de Concreto	M.02
Placa Pré-moldada	M.03
Tijolo Cerâmico	M.04

**Tabela 30. Legenda para os Critérios**

<i>Critérios</i>	<i>Forma de Identificação</i>
Conforto Térmico e Acústico.	C.01
Impactos na Extração dos Recursos Naturais.	C.02
Energia Embutida.	C.03
Geração de Resíduo.	C.04
Informalidade da Mão de Obra.	C.05
Aceitação do Mercado.	C.06
Mão de Obra Qualificada.	C.07
Custo do Material.	C.08
Custo com Mão de Obra.	C.09
Incentivos Fiscais e Econômicos.	C.10

Para a execução do método AHP optou-se pela utilização da média aritmética simples da escala dos critérios utilizadas neste trabalho, que é de 1 a 5, como pode ser visto no gráfico 11. Outra adaptação foi feita em relação aos critérios com desempenho decrescente, onde os valores obtidos foram calculados pela equação de 1º grau ( $X = 6 - x$ ), essa adaptação ocorreu para a construção das matrizes de comparação dos materiais em relação ao desempenho nos critérios.

Neste trabalho, será apresentado o procedimento do cálculo vetor prioridade ( $V_k$ ) apenas para o critério Conforto Térmico e Acústico, tendo em vista que o procedimento para os demais critérios é o mesmo. Ao finalizar a construção das matrizes de preferência de todos os critérios, gerou-se uma matriz geral de preferência através dos valores dos vetores prioritários ou de impacto das alternativas sob cada critério, para todos os materiais.

Adaptando-se as etapas descritas no método, construiu-se a matriz de comparação ou de preferência para cada critério, Tabela 31.

**Tabela 31. Matriz de comparação dos materiais segundo critério Conforto Térmico e Acústico**

	<i>M.01</i>	<i>M.02</i>	<i>M.03</i>	<i>M.04</i>
<b>M.01</b>	<b>1,00</b>	1,89	2,64	1,05
<b>M.02</b>	0,53	<b>1,00</b>	1,39	0,55
<b>M.03</b>	0,38	0,72	<b>1,00</b>	0,40
<b>M.04</b>	0,95	1,80	2,52	<b>1,00</b>

Para normalizar a matriz primeiramente soma-se as colunas como apresentado na Tabela 32.

**Tabela 32. Somatório das colunas da tabela 31.**

	<i>M.01</i>	<i>M.02</i>	<i>M.03</i>	<i>M.04</i>
<b>Soma</b>	1,00	1,89	2,64	1,05

Após o procedimento de soma dividi-se o valor de preferência do par pela soma da linha, realizando-se o procedimento para todos os valores obtemos a matriz normalizada do critério Conforto Térmico e Acústico, visualizada na Tabela 33.

**Tabela 33. Matriz resultante da normalização da tabela 31.**

	<i>M.01</i>	<i>M.02</i>	<i>M.03</i>	<i>M.04</i>
M.01	0,35	0,35	0,35	0,35
M.02	0,18	0,18	0,18	0,18
M.03	0,13	0,13	0,13	0,13
M.04	0,33	0,33	0,33	0,33

Para a obtenção dos vetores ( $V_k$ ) de cada material em relação ao critério em questão é realizado a soma da linha da tabela normalizada dividido pelo número de colunas, cujo resultado é apresentado na Tabela 34.

**Tabela 34. Matriz resultante da normalização da tabela 33.**

<i>Material</i>	<i>Prioridade</i>
$V_k(M.01)$	0,35
$V_k(M.02)$	0,18
$V_k(M.03)$	0,13
$V_k(M.04)$	0,33

A ordem de prioridade dos materiais em relação ao critério Conforto Térmico e acústico é o Tijolo Solo-Cimento com o vetor 0,35, Tijolo Cerâmico com o vetor 0,33, Tijolo de Concreto com o vetor 0,18 e Placa Pré-Moldada com o vetor 0,13.

Após realizar a normalização dos dados de todos os critérios em relação aos materiais, conforme descrito no primeiro critério (Conforto Térmico e Acústico) construiu-se a matriz geral de preferência, cujas colunas são compostas por cada material e as linhas pelos critérios. O resultado pode ser visto na tabela 35.

**Tabela 35. Matriz geral dos vetores de preferência.**

<i>Crítérios</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>
Conforto Térmico e Acústico	5	8	3	3
Impactos na Extração dos Recursos Naturais	4	7	9	5
Energia Embutida	6	1	0	2
Geração de Resíduo	7	2	1	3
Informalidade da Mão de Obra	2	9	3	4
Aceitação do Mercado	0	3	9	3
Mão de Obra Qualificada	1	4	5	8
Custo do Material	4	0	7	7
Custo com Mão de Obra	7	4	2	6
Incentivos Fiscais e Econômicos	3	2	2	5

Com a obtenção de todas as prioridades dos materiais em relação ao desempenho dos critérios, se faz necessário a construção da matriz de comparação entre os critérios, que neste caso iremos utilizar a média aritmética dos pesos atribuídos pelos entrevistados.

O procedimento da obtenção da matriz de comparação de critérios, na Tabela 36 é o mesmo utilizado para unidade em relação aos critérios, já descrito no início da aplicação do método.

Tabela 36. Matriz de Comparação entre critérios.

<i>Critérios</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>
C1	<b>1,00</b>	1,04	1,31	1,31	1,75	1,04	1,22	1,22	1,40	1,31
C2	0,96	<b>1,00</b>	1,25	1,25	1,68	1,00	1,17	1,17	1,35	1,25
C3	0,77	0,80	<b>1,00</b>	1,00	1,34	0,80	0,94	0,94	1,07	1,00
C4	0,77	0,80	1,00	<b>1,00</b>	1,34	0,80	0,94	0,94	1,07	1,00
C5	0,57	0,59	0,75	0,75	<b>1,00</b>	0,59	0,70	0,70	0,80	0,75
C6	0,96	1,00	1,25	1,25	1,68	<b>1,00</b>	1,17	1,17	1,35	1,25
C7	0,82	0,85	1,07	1,07	1,43	0,85	<b>1,00</b>	1,00	1,15	1,07
C8	0,82	0,85	1,07	1,07	1,43	0,85	1,00	<b>1,00</b>	1,15	1,07
C9	0,71	0,74	0,93	0,93	1,25	0,74	0,87	0,87	<b>1,00</b>	0,93
C10	0,77	0,80	1,00	1,00	1,34	0,80	0,94	0,94	1,07	<b>1,00</b>

Com o mesmo procedimento para normalizar a matriz, explicado no critério Conforto Térmico e Acústico segue-se na Tabela 37 a matriz normalizada.

Tabela 37. Matriz de normalização entre critérios.

<i>Critérios</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>
C1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
C2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
C3	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
C4	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
C5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
C6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
C7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
C8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
C9	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
C10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Através da matriz normalizada dos critérios pode-se calcular a ordem de prioridades para os critérios, Tabela 38, ou seja, aqueles que segundo os entrevistados mais influenciam na avaliação da sustentabilidade dos materiais.

Tabela 38. Médias dos vetores preferências dos critérios.

<i>Critérios</i>	<i>Prioridade</i>
Vk (C 01)	0,123
Vk (C 02)	0,118
Vk (C 03)	0,094
Vk (C 04)	0,094
Vk (C 05)	0,070
Vk (C 06)	0,118
Vk (C 07)	0,100
Vk (C 08)	0,100
Vk (C 09)	0,088
Vk (C 10)	0,094

Para concluir a classificação dos Materiais multiplica-se a matriz de preferência apresentada na Tabela 34 pela média na Tabela 38.

Apresenta-se, a seguir, o cálculo para o material Solo-Cimento.



**Pontuação de M.01** =  $(0,123 \times 0,35) + (0,118 \times 1,54) + (0,094 \times 1,66) + (0,094 \times 1,37) + (0,070 \times 0,82) + (0,118 \times 0,80) + (0,100 \times 0,91) + (0,100 \times 1,14) + (0,088 \times 1,17) + (0,094 \times 0,73) = 1,04$

Após a realização do procedimento descrito acima para os quatro materiais têm-se o produto final de acordo com a Tabela 39.

**Tabela 39. Resultado da multiplicação da matriz 34 com 37.**

<i>Material</i>	<i>Pontuação</i>
M.01	1,040
M.02	1,016
M.03	0,842
M.04	1,024

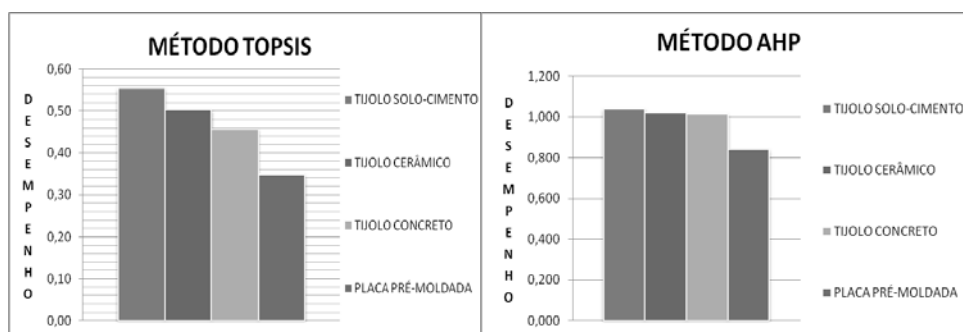
De acordo com a aplicação do método AHP, a classificação das alternativas em nível de sustentabilidade dos materiais está representada na Tabela 40.

**Tabela 40. Hierarquização dos materiais em estudo.**

	<i>Material</i>	<i>Pontuação</i>
1º	M.01	1,040
2º	M.04	1,024
3º	M.02	1,016
4º	M.03	0,842

Conforme pode ser observado na Tabela 40, o material com melhor desempenho em relação aos critérios utilizados para o estudo foi Tijolo Solo-Cimento, seguida pelo Tijolo Cerâmico, em terceiro lugar o Tijolo de Concreto com uma diferença numérica muito pequena de 0,0074 e a Placa de concreto Pré-Moldada classificada como sendo a menos sustentável.

Como pode ser visto nos gráficos 14 e 15, os dois métodos utilizados apresentaram resultados dentro do esperado, observa-se apenas pequenas diferenças na amplitude numérica entre os materiais apesar de coincidirem na ordem de desempenho das alternativas para a tomada de decisão.



**Gráfico 14 e 15. Desempenho da sustentabilidade dos materiais de acordo com os métodos TOPSIS e AHP.**

Os métodos apresentaram resultados de fácil visualização e compreensão, através dos valores do coeficiente de similaridade ( $C_k$ ) no TOPSIS e o vetor de preferência ( $V_k$ ) no AHP, porém, o método TOPSIS apresentou diferenças mais expressivas entre os materiais.

## CONCLUSÕES

- A Construção Civil ainda é caracterizada como tradicional e conservadora conforme afirmam, apesar disso é forte o crescimento do interesse por alternativas sustentáveis;
- O levantamento de materiais disponíveis se limitou ao Tijolo Solo-Cimento, Tijolo Concreto, Placa Pré-moldada e o Tijolo Cerâmico, uma vez que não foi verificada outras alternativas na cidade;
- Os critérios definidos foram coerentes para a aplicação da metodologia e classificação dos materiais, porém, futuros estudos são passivos de inclusão de novos critérios;
- Os métodos de tomada de decisão se mostraram eficientes para a classificação dos materiais, embora o método TOPSIS mostrou uma maior amplitude entre os materiais;
- O material mais sustentável em ambos os métodos foi o Tijolo Solo-Cimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELL S.; MORSE S.; *Measuring Sustainability*. London: Earthscan, 2003. 187p.
2. CASTRO, L.M.A. *Proposição de Indicadores para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana*. 2002. 118 p. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte 2002.
3. GOMES, E.G.; LINS, M.P.E.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. *Seleção do melhor município: integração SIG Multicritério. Investigação Operacional*, v. 22, n. 1, 2002.
4. JUNQUEIRA, J. C. R.; *Desenvolvimento de Modelo para Avaliação de Desempenho de Política Pública de Meio Ambiente. Estudo de Caso: Estado de Minas Gerais*. 2005. 320 P. (Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte 2005.
6. MICHAEL, H.V.B; *Indicadores de Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: FGV, 2007. 256 p.
7. OLLAGUEZ, D. E. M. *Criterios de Seleccion de Personal mediante El use del proceso de analisis jerarquico. Aplicacion en la seleccion de personal para la Empresa Exotic Foods S.A.C*. Monografia. Facultad de Ciencias Matematicas . Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru. (2006).