

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**LUCIO VILLARINHO ROSA**

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS ESCOLARES EXISTENTES:  
modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico  
hierárquico – ahp.

RIO DE JANEIRO

2009

LUCIO VILLARINHO ROSA.

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS ESCOLARES EXISTENTES:  
modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico  
hierárquico – ahp.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Escola Politécnica e da Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia ambiental.

Orientador: Assed Naked Haddad, D. Sc.

RIO DE JANEIRO

2010

R788a Rosa, Lucio Villarinho.

Avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes: Modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico hierárquico - AHP / Lucio Villarinho Rosa. - Rio de Janeiro: UFRJ/Escolas Politécnica e de Química, 2010.

112 p.; 29,7 cm.

Orientador: Assed Naked Haddad.

Dissertação (mestrado) - UFRJ/Escolas Politécnica e de Química/ Programa de Engenharia Ambiental, 2010.

Inclui bibliografia.

1. AHP. 2. Avaliação de edifícios. 3. Edifício verde. I. Rosa, Assed Naked Haddad. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escolas Politécnica e de Química, Programa de Engenharia Ambiental. III. Título.

LUCIO VILLARINHO ROSA.

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS ESCOLARES EXISTENTES:  
modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico  
hierárquico – ahp.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Escola Politécnica e da Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 17 de dezembro de 2009.

---

Assed Naked Haddad, D. Sc.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos, D. Sc.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Renato de Campos, D. Sc.  
Universidade Estadual Paulista

“... Deus permite a todo mundo uma loucura...”

Francisco Buarque de Holanda.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus filhos, Pedro e Rachel, pelo presente que são de Deus.

À Regina, minha esposa, que soube compreender a importância dessa jornada.

Aos meus pais Elza e Sebastião, pelo esforço, pela dedicação e pelo amor concedido a mim e as minhas irmãs ao longo de nossas vidas.

Ao amigo e avô Joaquim Villarinho, in memoriam, pela dedicação, proteção e orientação proporcionadas.

Ao amigo Carlos Augusto dos Santos, in memoriam, cuja passagem neste mundo, apesar de curta, proporcionou aos mais próximos um grande exemplo de luta e superação.

Ao amigo Mauri, pela dedicação e momentos de descontração proporcionados.

Aos amigos de turma, pelos inesquecíveis momentos que passamos juntos.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

ROSA, Lucio Villarinho. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes**: modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico hierárquico–ahp. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Os conceitos relativos à sustentabilidade estão influenciando cada vez mais as sociedades por todo o planeta que têm hoje não somente preocupações com a qualidade dos produtos ou serviços, mas também com a performance das empresas quanto à degradação ambiental e as questões sociais. A indústria da construção civil, notadamente os empreendimentos prediais, vêm sendo acusados de promover impactos ao meio ambiente desde o consumo excessivo de recursos até a geração de poluição. Os edifícios ao mesmo tempo em que são considerados os maiores contribuintes da degradação ambiental, são também reconhecidos como importantes para a sustentabilidade dos negócios e, dado que os habitantes das cidades gastam de 80% a 90% do seu tempo em ambiente interno, indispensáveis às tratativas com relação à melhoria da qualidade de vida. O presente trabalho pretende ser uma contribuição para a aplicação do conceito de sustentabilidade aplicado às edificações, bem como, ser uma contribuição e um incentivo às práticas de desenvolvimento de métodos e ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes. Para isso, são identificados os principais sistemas de avaliação de desempenho de edifícios e suas principais características. São ainda realizadas visitas a campo e entrevistas com as partes interessadas, notadamente experts, para identificar as principais características sociais,

econômicas e ambientais do contexto do Estado do Rio de Janeiro, ligadas à necessária customização desse tipo de ferramenta. Neste sentido é utilizado o método multicritério de apoio à decisão AHP para investigar a importância relativa dos chamados critérios, subcritérios e famílias de indicadores, estabelecidos pelo pesquisador e experts e, assim ajustar o sistema proposto às características técnicas e culturais do local, viabilizando a apresentação dos fatores críticos para uma avaliação de sustentabilidade desse tipo de edificação. Como resultado da aplicação da modelagem, obteve-se uma proposta de ferramenta de avaliação de sustentabilidade de edificações escolares existentes que contempla o contexto do Estado do Rio de Janeiro no tocante aos aspectos ambientais, sociais e perspectivas econômicas. Foi possível concluir que a utilização do método AHP facilita sobremaneira a compreensão do processo decisório pelas partes interessadas, bem como dos significados dos resultados.

**Palavras-chave:** METODOLOGIA AHP; AVALIAÇÃO DE EDIFÍCIO, EDIFÍCIO VERDE.

## ABSTRACT

ROSA, Lucio Villarinho. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes**: Modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores utilizando o processo analítico hierárquico–ahp. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

The relative concepts of sustainability are influenced more and more by societies around the world; such societies of today have not only preoccupations with the qualities of their products and services, but also have preoccupations with their performance relative to social and environmental issues. The civil construction industry, especially for building development, is being accused of promoting environmental impacts that range from excess use of resources to pollution generation. Buildings which at the same token are considered the largest contributors to environmental degradation, are also recognized as important for business sustainability and for quality of life improvements, as city dwellers spend between 80% and 90% of their time indoors. The present study intends to offer an application of the sustainability concept applied to buildings, as well as, to make a contribution and an incentive to the development of practices, methodology and tools for evaluation of already existing school buildings. In order to achieve that, this study will detail how the primary systems to evaluate building performance treat the many elements involved, as well as how to complete a field visit and proceed in an interview involving the interest parties - such as building operation and building maintenance, experts, faculty and pupils - to identify primary social-economic and environmental characteristics within the State of Rio de Janeiro, Brazil, related

to the customization of the type of tool needed. In this manner, it is utilized the AHP multi-criteria method to investigate the relative importance of so called criteria, sub-criteria and index families, established by the researcher and interested parties, and adjust the proposed system of technical characteristics applied to the local culture, and at the same time making viable the presentation of critical factors involved in the evaluation of the sustainability of these buildings. As a result of the application of this type of modeling, it was obtained a proposition of the system of sustainability evaluation for existing school buildings in the State of Rio de Janeiro, Brazil in reference to environmental aspects and socio-economic perspectives.

**Keywords:** AHP METHODOLOGY, BUILDING ASSESSMENT, GREEN BUILDING.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação de sistemáticas de avaliação	29
Figura 2 – Escolha da alternativa mais adequada: abordagem multicritério	35
Figura 3 – Construção da hierarquia	39
Figura 4 – Comparação par a par dos elementos de uma mesma camada	40
Figura 5 – Matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva	41
Figura 6 - Exemplo de quadros para cálculo da PML	42
Figura 7 - Objetivo central e conjunto de critérios da matriz	49
Figura 8 – Critério “aspectos econômicos” e respectivos subcritérios	50
Figura 9 – Critério “aspectos ambientais” e respectivos subcritérios	50
Figura 10 – Critério “aspectos sociais” e respectivos subcritérios	50
Figura 11 – Matriz de critérios, subcritérios e famílias de indicadores	53
Figura 12 – Escala de julgamentos utilizada na pesquisa	56
Figura 13 – Apuração do resultado final da avaliação	58
Figura 14 – Importância relativa dos critérios em relação ao objetivo principal	61
Figura 15 – Importância relativa do critério “aspectos sociais” e dos respectivos Subcritérios, em relação ao objetivo principal	63
Figura 16 – Importância relativa do critério “aspectos econômicos” e dos respectivos Subcritérios, em relação ao objetivo principal	65
Figura 17 – Importância relativa do critério “aspectos ambientais” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal	67
Figura 18 – Importância relativa do subcritério “saúde e segurança” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	70
Figura 19 – Importância relativa do subcritério “conforto” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	72
Figura 20 – Importância relativa do subcritério “uso da água” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	74

Figura 21 – Importância relativa do subcritério “materiais e recursos” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	77
Figura 22 – Importância relativa do subcritério “sítio sustentável” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	79
Figura 23 – Importância relativa do subcritério “uso de energia” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	81
Figura 24 – Importância relativa do subcritério “eco-gestao” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	83
Figura 25 – Importância relativa do subcritério “resíduos e poluição” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	86
Figura 26 – Importância relativa do subcritério “investimentos em operação” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	88
Figura 27 - Importância relativa do subcritério “despesas de operação e manutenção” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala fundamental de julgamentos	40
Quadro 2 – Índice de consistência para uma matriz recíproca	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparativo das sistemáticas

30

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	16
1.1 A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS	16
1.2 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO	21
1.3 O PAPEL DAS UNIVERSIDADES NA DISSEMINAÇÃO DAS PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS	22
1.4 PROBLEMA CENTRAL	24
1.5 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	24
1.6 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	25
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
<b>2 A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS</b>	27
<b>3 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO</b>	32
3.1 OS PROBLEMAS COMPLEXOS DE TOMADA DE DECISÃO	32
3.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	34
3.3 O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA - AHP	38
3.3.1 Estruturação da hierarquia	39
3.3.2 Julgamentos de valor	40
3.3.3 Priorização das alternativas	41
3.3.4 Análise de consistência	43
3.3.5 Limitações e críticas	45
<b>4 METODOLOGIA</b>	46

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	46
<b>5 ETAPAS DA PESQUISA</b>	<b>48</b>
<b>6 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>59</b>
6.1 COLETA DOS JULGAMENTOS	59
6.2 PRIORIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA	59
6.2.1 Primeiro nível hierárquico	59
6.2.2 Segundo nível hierárquico	61
6.2.3 Terceiro nível hierárquico	68
6.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	91
<b>7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>101</b>
APÊNDICE A – Instrumento de pesquisa: subcritérios à luz dos critérios e critérios à luz do objetivo principal	101
APÊNDICE B – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério despesa de operação e manutenção O&M	103
APÊNDICE C – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério eco-gestão	104
APÊNDICE D – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do Subcritério investimento em operação	105

APÊNDICE E – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério conforto	106
APÊNDICE F – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério materiais e recursos	107
APÊNDICE G – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério resíduo e poluição	108
APÊNDICE H – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério saúde e segurança	109
APÊNDICE I – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério sítio sustentável	110
APÊNDICE J – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério uso eficiente da água	111
APÊNDICE K – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério uso eficiente da energia	112

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

Com o processo de globalização as organizações passaram a demandar uma maior atenção aos desejos e tendências da sociedade consumidora e dessa forma passaram a considerar mais fortemente os aspectos relacionados à satisfação do cliente, qualidade dos produtos e as interações com o meio ambiente.

Não importa se a organização atua em caráter doméstico ou em pequena escala, já que são afetadas direta ou indiretamente pela competição das multinacionais e para sobreviver sem perda de posição no mercado são levadas a reagir às mudanças da mesma forma que uma grande organização.

Esta nova conjuntura se caracteriza pela desregulamentação dos mercados, pela eliminação de barreiras comerciais, novas tecnologias da informação que tem como objetivo primordial a geração de competitividade.

Ortiz, Castells e Sonnemann (2009) são de opinião que o termo desenvolvimento sustentável pode assumir o significado “destaque à qualidade de vida” permitindo às pessoas ter como objetivo viver a vida em um ambiente salubre, bem como projetar a melhoria contínua das condições sociais, econômicas e ambientais para a geração atual e futura.

Tal conceito está influenciando cada vez mais sociedades por todo o planeta, que têm hoje não somente preocupações com a qualidade dos produtos ou serviços, mas também preocupações ecológicas e de segurança, o que pressiona as organizações a incorporar tais valores aos seus processos.

Para Ding (2008) a construção civil vem sendo acusada de promover impactos ao meio ambiente desde o consumo excessivo de recursos até a geração de poluição nas fases de construção e uso. Corroborando com essa visão podemos destacar, por exemplo, que o maior

volume diário de resíduos coletados em São Paulo é oriundo da construção civil e que nos países do hemisfério norte, a maior parte do consumo de energia é decorrente da climatização das edificações.

Burnett (2007) é de opinião que enquanto os edifícios são os maiores contribuintes da degradação ambiental eles são ao mesmo tempo importantes para a sustentabilidade dos negócios e dado que os habitantes das cidades gastam de 80% a 90% do seu tempo em ambiente interno podem dessa forma contribuir significativamente para a qualidade de vida.

Na opinião de Haapio e Vitaniemi (2008) significativas mudanças são necessárias no sentido de mitigar os impactos ambientais da indústria da construção. Para tanto o foco deve ser centrado em três áreas, a saber: projeto; construção e uso.

Ortiz, Castells e Sonnemann (2009) acrescentam que atenção especial deve ser dispensada as atividades desenvolvidas pelas micro e pequenas organizações do setor da indústria da construção na medida em que representam a base mais sólida para qualquer país e, portanto, toda e qualquer inovação que auxilie no desenvolvimento da percepção de aspectos e de impactos ambientais deve ser disseminada e aplicada às mesmas, prioritariamente.

Para Cole (apud DING, 2008) existe o consenso a respeito de como implementar práticas construtivas no sentido de minimizar os impactos ao meio ambiente e com isso viabilizar um edifício com alto desempenho ambiental, propiciando boas condições de conforto e salubridade para os usuários.

Para tanto, deve-se considerar, entre outros: baixo consumo de energia para ar-condicionado e iluminação; racionalização do consumo de água potável; uso de sistemas construtivos e execução da obra de modo a minorar a geração de resíduos; localização do empreendimento que facilite o seu acesso pelos usuários, e não-perturbação da vizinhança, principalmente durante a obra.

Para Crouley e Aho (apud HAAPIO; VITANIEMI, 2008) o foco da redução de impactos ambientais acarreta a necessidade de utilização de ferramenta de monitoração da performance ambiental da construção.

Cole (apud DING, 2008) é de opinião que o objetivo primário de um método de avaliação de desempenho ambiental é prover a avaliação dos aspectos ambientais do edifício usando um conjunto de critérios verificáveis e metas para que os proprietários e projetistas se alinhem com padrões ambientais elevados. Ainda segundo o autor a avaliação de performance ambiental do edifício reflete a significância do conceito de sustentabilidade no contexto do projeto e depois na construção do edifício.

Cabe salientar que além de Canadá, Estados Unidos, Japão, e Austrália praticamente, cada país europeu, possui um sistema de avaliação ambiental de edifícios (ASSOCIATION POUR LA HAUTE QUALITÉ ENVIRONNMENTALE, 2009; BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 2009; COMPREHENSIVE ASSESSMENT SYSTEM FOR BUILDING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY, 2009; INSTITUTE FOR BUILDING ENVIRONMENT ENERGY CONSERVATION, 2009; INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT, 2009; LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN, 2009).

Haapio e Vitaniemi (2008) entendem que o campo das ferramentas de avaliação ambiental de edifícios é tão vasto que se faz necessário à análise e categorização das mesmas no sentido de tornar possível conhecer as respectivas potencialidades no sentido da participação efetiva no processo decisório.

Ainda segundo os autores tal tarefa não é simples e não raro impossível, na medida em que tais ferramentas são desenvolvidas para analisar diferentes tipos de construções e diferentes fases do ciclo de vida.

Segundo Ding (2008) a maioria dos métodos possui limitações que podem entravar suas futuras utilizações e efetividades. Prosseguindo nas críticas aos métodos destaca que:

- a) devem ser empregados como ferramentas de projeto tão logo quanto possível, antes da concepção do projeto, permitindo a necessária colaboração entre projetistas e equipe de avaliadores ambientais;
- b) devem ser utilizados não para avaliar o projeto do edifício contra uma série de critérios ambientais e sim para selecionar a opção ótima de projeto e localização;
- c) são extensos e de difícil implementação acarretando a necessidade de sistemas auxiliares complexos, com muitas informações requeridas para a análise;
- d) tomam por base em sua maioria os aspectos qualitativos que, portanto, não podem ser medidos gerando respostas do tipo “presente” ou “ausente” o que pode comprometer a qualidade dos dados;
- e) devem prescrever pesos para os diversos critérios segundo um consenso básico ou metodologia satisfatória, e possuir uma mesma base decisória para a elaboração de escala ou atribuição de pontos para cada critério;
- f) alguns não incluem aspectos financeiros o que contradiz um dos princípios do desenvolvimento de que o retorno do investimento é fundamental;
- g) a maioria foi desenvolvida para uso local e não pode ser utilizada em caráter nacional ou por outros países sem a necessária customização.

Corroborando com esta visão Silva, Silva e Agopyan (2003) descartam qualquer possibilidade de mera importação de métodos existentes com base no sucesso alcançado em países com latitudes e condições sociais, econômicas e ambientais diferentes, bem como destacam que a questão central para os países em desenvolvimento é saltar da avaliação ambiental para a avaliação da sustentabilidade dos edifícios e contemplar também os aspectos

sociais e econômicos relacionados à produção, operação e modificação do ambiente construído.

Neste ponto cabe ressaltar que cada país, ou empresa, tem sua própria cultura não existindo uma cultura padrão a ser seguida, razão por que muitas tecnologias bem sucedidas nos países de origem apresentam níveis de produtividade e qualidade inferiores quando implantadas em outros países cuja cultura difere muito daquela do país exportador.

Corroborando com essa visão Wisner (2004) entende que não se trata de copiar integralmente fórmulas de sucesso é preciso adaptá-las à cultura do país ou da empresa importadora.

Ainda seguindo essa visão destacamos a posição de Fonseca, Siqueira e Josafá (2002) de que ficamos expostos ao risco de produzir mimetizações culturais, na medida em que estamos imersos em uma sociedade globalizada e conectada por redes de informação, que facilmente submetem valores éticos e culturais locais a certos padrões específicos, impostos ao todo como gerais pela força dos meios de comunicação de massa.

Para Wisner (2004) a transferência de tecnologia terá maiores chances de apresentar sucesso se for proposta como um processo ativo e adaptado, com a participação do governo, administradores e trabalhadores. Neste sentido, cabe ao importador ao invés de procurar criar uma situação similar àquela do exportador, buscar a consciência da sua identidade geográfica, econômica e cultural procurando dessa forma inserir o sistema nesta realidade.

Cabe destacar que diversas ações vêm sendo adotadas no Brasil no sentido de promover o desenvolvimento ou a customização de métodos de avaliação de desempenho de edifícios, novos e existentes, dentre as quais se destaca a participação de especialistas brasileiros no desenvolvimento do Green Building Assessment Tool (GBTTool), na customização do Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e do Haute Qualité Environnementale (HQE), bem como no desenvolvimento de método nacional de avaliação

de desempenho de edifícios, promovido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2007).

Na visão de Silva, Silva e Agopyan (2003) são duas as discussões mais efervescentes: a questão da orientação da abordagem dos blocos conceituais de critérios, se orientados ao desempenho ou a dispositivos, e a questão do estabelecimento do critério para ponderação, uma vez da inexistência de um método consensual para a comparação relativa dos impactos.

Com relação a esta última e controversa discussão os autores sugerem a adoção da ferramenta de análise hierárquica de processo (AHP), como a derivação inicial de ponderação mais eficaz para o Brasil, envolvendo representantes dos principais atores envolvidos: universidades, projetistas, construtores e usuários.

## 1.2 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Segundo Doumpos e Zopounids (2002) os problemas podem ser classificados em discretos, ou seja, aqueles que apresentam um conjunto finito de alternativas, e os contínuos que apresentam uma quantidade infinita de alternativas.

A busca de soluções para os problemas ditos discretos teve, a partir dos anos 70, o suporte necessário através do desenvolvimento de uma série de métodos e técnicas denominadas auxílio multicritério à decisão (AMD).

Zapala (1995) entende que o AMD representa um conjunto finito de alternativas em relação a um conjunto finito de critérios, que trabalha com a pluralidade de clientes e critérios, bem como com informações ditas imperfeitas.

Dentre os métodos de análise multicriterial destaca-se o método AHP (analytical hierarchy process), proposto por Saaty na década de 80, que é orientado para a hierarquização

dos objetivos através de comparações paritárias, ou seja, procura obter pesos numéricos para alternativas com relação à subobjetivos e para subobjetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada, bem como, permite o checamento da qualidade dos dados de entrada através de análises de consistências.

O modelo de análise hierárquica (AHP) envolve quatro fases, ou seja: estruturação do problema decisório; mensuração e coleta de dados, determinação dos pesos normalizados, e apresentação das sínteses das soluções descobertas para o problema (CHANG; CHIANG; CHOU, 2007).

Para Saaty (1991) a AHP é um método para a escolha da melhor alternativa que incorpora considerações qualitativas e subjetivas aos fatores quantitativos do processo de tomada de decisão, ou seja, permite ao tomador de decisão trabalhar com o intuitivo, o racional e o irracional ao mesmo tempo.

Cabe destacar que a utilização de especialistas é justificada se: a informação relevante para o processo decisório não está disponível ou é parcial; existe uma limitação de tempo ou de recursos, ou se é requerida uma perspectiva holística (PARRA-LÓPEZ; CALATRAVRA REQUENA; HARO-GIMÉNEZ, 2007).

Chang, Chiang e Chou (2007) entendem que a estrutura hierárquica utilizada na formulação do modelo AHP permite que cada membro do grupo de especialistas visualize o problema de forma sistemática em termos de critérios e subcritérios relevantes. Os especialistas podem ainda, se necessário, proceder à revisão da estrutura hierárquica proposta.

### 1.3 O PAPEL DAS UNIVERSIDADES NA DISSEMINAÇÃO DAS PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Em função da escala e velocidade de crescimento dos níveis de poluição e degradação ambiental e do esgotamento sistemático das fontes de recursos naturais, bem como, do

significativo potencial de contribuição das universidades na busca de soluções que revertam tais tendências no ano de 2005 trezentos reitores, chanceleres, e presidentes de universidades, envolvendo quarenta países, firmaram documento para a tomada de ações em diversas áreas dentre as quais se destaca: estabelecer programas para a produção de expertise em gestão ambiental; encorajar o envolvimento do governo em seus diversos níveis, fundações e indústrias no suporte de pesquisas, bem como, estabelecer um exemplo de responsabilidade ambiental através de programas de conservação de recursos, reciclagem e redução do lixo nas universidades (ASSOCIATION OF UNIVERSITY LEADERS FOR A SUSTAINABLE FUTURE, 2005).

Na visão de Lilyblade (2005) tal acordo impulsionou sobremaneira a implementação de práticas sustentáveis nos campus, bem como, incorporou novas disciplinas, pesquisas e operações sustentáveis.

Segundo o British Council for School Environments (2006) no projeto, construção e operação de um edifício escolar quatro aspectos de performance são particularmente importantes: priorizar sempre o emprego de conceitos fundamentais; considerar seriamente os requisitos de gerenciamento da operação e manutenção; complementar as necessidades e hábitos dos ocupantes, e projetar novas instalações ou ampliações considerando mudanças e incertezas.

Cabe salientar neste ponto alguns dos principais resultados da pesquisa desenvolvida por Reed Research Group (2004) envolvendo profissionais do campo da educação com o objetivo de conhecer suas opiniões, percepções e ações com relação ao tema “escola verde”, a saber:

- a) dois terços dos respondentes acreditam que a “escola verde” tem um custo superior de construção e, este fator se constitui na principal barreira para a sua disseminação;

- b) dois terços dos respondentes já incorporaram algumas técnicas preconizadas pelo modelo em projetos recentes,
- c) três em cada quatro respondentes acreditam que a “escola verde” pode servir de ferramenta para os professores junto aos alunos.

#### 1.4 PROBLEMA CENTRAL

Uma vez a significância da indústria da construção civil para a economia do Brasil, associada à questão da crescente busca por edifícios mais eficazes, bem como da grande heterogeneidade no foco das empresas da indústria da construção civil, abrangendo desde aquelas que se limitam à incorporação de conceitos por meio de soluções de projeto que possuem grande visibilidade, porém sem representar grandes melhorias ambientais, até as que estão buscando certificação de acordo com critérios do exterior, que nem sempre são adequados às condições nacionais, destaca-se o fato de que uma das prioridades em pesquisa gerencial é a instrumentalização desse segmento de organizações no tocante a avaliação de sustentabilidade de edifícios novos e existentes.

Coloca-se como problema central a resposta à seguinte questão: Quais são os critérios, subcritérios, famílias de indicadores e respectivos níveis relativos de importância, inerentes a um método de avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes, customizado para aplicação na região sudeste brasileira?

#### 1.5 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo que delimitou a ação empreendida no presente trabalho foi o de realizar uma modelagem de critérios, subcritérios e famílias de indicadores, utilizando o método de

análise hierárquica para apoio à decisão sobre os respectivos níveis relativos de importância, e com isso estabelecer uma proposta de um sistema para a avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes, customizado às condições locais do Estado do Rio de Janeiro.

O objetivo geral é desdobrado de forma mais específica como segue:

- a) identificar os critérios, subcritérios e família de indicadores efetivamente relevantes na avaliação da sustentabilidade de um edifício escolar existente a partir dos variados pontos de vistas dos diversos atores envolvidos com a questão da pós-ocupação desse tipo de edificação;
- b) contribuir para o desenvolvimento de um modelo de avaliação da sustentabilidade de edifícios existentes escolares que permita tratar cientificamente a subjetividade inerente ao processo de avaliação da sustentabilidade de edifícios, customizado às condições locais brasileiras;
- c) contribuir para o reconhecimento da importância na adoção de ferramentas modernas de avaliação da sustentabilidade em edifícios tendo em vista o reflexo positivo para o desempenho da indústria da construção, em suas várias dimensões.

## 1.6 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O presente estudo apresenta uma abordagem que pretende alcançar melhores resultados nas avaliações da sustentabilidade de edifícios escolares existentes no Brasil. Não se pretende, portanto, apresentar uma nova abordagem conceitual, mas tão somente adaptações aos modelos já adotados com a incorporação de metodologia de análise multicritério, no caso a AHP.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho em questão está estruturado em seis segmentos, ou seja: introdução; revisão da bibliografia; metodologia; etapas da pesquisa; análise dos resultados e conclusões.

Neste primeiro segmento é feita uma introdução ao tema em questão, justificando-se a sua escolha, descrevendo-se os objetivos e hipóteses propostas, assim como uma estruturação para o trabalho.

O segmento referente à revisão da bibliografia está dividido em duas partes. Na primeira são analisados os aspectos relevantes dos principais sistemas existentes para a avaliação da sustentabilidade de edifícios. Já na parte seguinte é tratada a pertinência do emprego da análise multicritério como ferramenta de apoio à tomada de decisão, bem como a sua aplicabilidade ao caso em questão.

O terceiro segmento é destinado à caracterização da pesquisa.

O quarto segmento descreve as etapas da pesquisa para a determinação dos critérios, subcritérios e famílias de indicadores, bem como a determinação dos respectivos níveis de importância relativa, necessários ao processo de avaliação da sustentabilidade de edifício escolar existente, suportado pelo método de análise hierárquica (AHP).

No quinto segmento são apresentados os resultados do tratamento dos dados da pesquisa realizada entre representantes das partes envolvidas na avaliação de edifícios escolares existentes, para a determinação da importância relativa dos critérios, subcritérios e famílias de indicadores.

No sexto e último segmento do trabalho são apresentadas as conclusões finais obtidas, bem como as recomendações para futuros trabalhos.

## 2 A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

Na opinião de Ali e Nsairat (2009) o edifício ambientalmente eficiente ou edifício verde representa a bandeira do desenvolvimento sustentável que tem a responsabilidade pelo balanço de longo prazo envolvendo economia, meio ambiente e saúde e dessa forma oferece a oportunidade do uso de novos conceitos em projeto permitindo a redução de impactos negativos dos edifícios em relação ao meio ambiente e sociedade.

Já para Kilbert e Grosskopf (apud BURNETT, 2007) o edifício verde ideal é aquele que: proporciona a integração local dos ecossistemas; possui um sistema de loop fechado para materiais; faz uso máximo de projeto passivo e energia renovável; otimiza ao máximo o ciclo hidrológico, e implementa ao máximo as medidas correntes de qualidade ambiental para interiores.

Neste ponto cabe destacar a definição de edifício verde segundo a American Society for Testing and Materials (2001), ou seja: é o edifício que provê uma determinada performance especificada quando submetido a uma série de requerimentos enquanto, simultaneamente, minimiza os distúrbios e promove a melhoria do ecossistema local, regional e global durante a sua construção e ao longo de sua utilização, bem como otimiza a eficiência do gerenciamento de recursos e o desempenho operacional, minimizando os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente.

O primeiro método comercial de avaliação de desempenho ambiental de edifícios apresentado em 1990, foi desenvolvido por Building Research Establishment (BRE), no Reino Unido, e recebeu a denominação Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). Tal método continha basicamente exigências de caráter prescritivo que enfocavam o interior da edificação, o seu entorno próximo e o meio ambiente.

Desde então muitas outras dezenas de métodos foram apresentados e estão em uso por todo o mundo.

Para Ali e Nsairat (2009) são basicamente dois os modelos de análise de performance ambiental para edifícios. O primeiro e majoritário modelo toma por base um sistema em que se atribui pontos a um seleto número de parâmetros, os chamados indicadores, de acordo com uma escala que varia de um “pequeno impacto” até a gradação “enorme impacto” ambiental. Esses indicadores possuem ponderações, explícitas ou não, que retratam os principais problemas ambientais locais.

Podem ser classificados nesse agrupamento os seguintes métodos: BREEAM; GBTool, e LEED.

Já o segundo modelo se utiliza da metodologia de avaliação do ciclo de vida (LCA), ou Life Cycle Assessment, para a indicação da melhor solução de projeto, materiais e opções de utilidades locais, ou seja: suprimento de energia; gestão de resíduos; tipos de transportes, etc.

Dentre outros podem ser aqui classificados os modelos Eco quantum desenvolvido na Holanda, em 2005, Building Environmental Assessment Tool (BEAT), criado na Dinamarca, em 2005 e Building for Environment and Economic Sustainability (BEE), desenvolvido nos Estados Unidos, em 2004.

Cabe ainda destacar a posição de Cam e Ong (apud ALI e NSAIRAT, 2009) de que a performance ambiental do edifício deve levar em conta principalmente três aspectos: primeiro sendo um conjunto de valores institucional para proporcionar o crescimento de recompensas para os diferentes atores dos setores de projeto e construção; em segundo lugar determinando referências de boas práticas para garantir uma banda de segurança em relação aos requerimentos padronizados, e finalmente promovendo uma plataforma inspiradora para novos projetistas, idéias e soluções técnicas.

Na Figura 1, a seguir, estão destacadas as importâncias relativas para os vários aspectos avaliados em diferentes métodos, onde se evidencia as diferenças entre as ponderações praticadas.

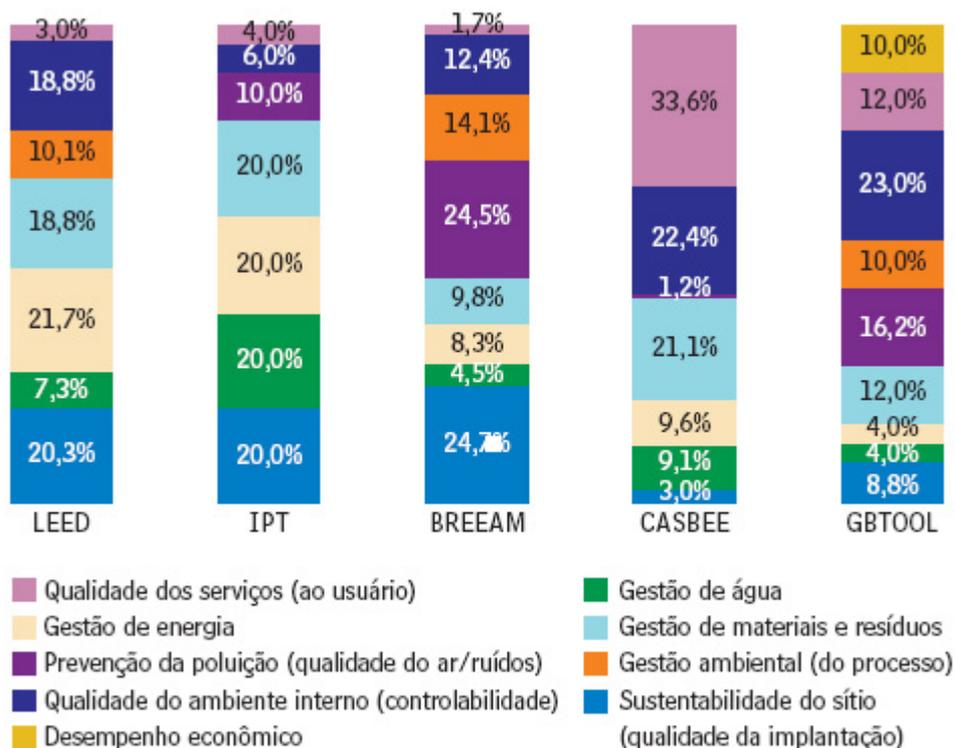


Figura 1 - Comparação de sistemáticas de avaliação.

Fonte: Revista Téchene, n. 133, abril 2008.

A Tabela 1 a seguir apresenta de forma resumida os detalhes principais das diversas sistemáticas que caracterizam as ferramentas BREEAM, LEED, HQE, GBTool, Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE), e IPT. Cabe destacar que a maioria das ferramentas apresentadas concentra-se exclusivamente na dimensão ambiental da sustentabilidade.

Tabela 1 – Comparativo das sistemáticas.

Fonte: Revista Téchene, n. 133, abril 2008.

Aspectos	Escopo da avaliação	Método de aplicação	Categorias avaliadas	Resultados
BREEAM	Ambiental	Atendimento de itens obrigatórios e classificatórios. Classificação do edifício	Saúde, poluição, conforto, uso de energia, uso de água, uso de materiais, uso do solo, ecologia local, transporte	Classificação em vários níveis, pontuação total obtida
LEED	Ambiental	Atendimento de itens obrigatórios e classificatórios. Classificação do edifício	Sítios sustentáveis, energia e atmosfera, uso eficiente da água, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno, inovação e processo de projeto	Quatro níveis, pontuação total obtida
HQE	Ambiental	Atendimento de perfil ambiental. Certificação ou não do edifício	Impactos no meio ambiente, gestão de recursos, conforto e saúde do usuário	Não há classificação. A certificação é obtida a partir do atendimento ao perfil de desempenho ambiental escolhido
GBTOOL	Ambiental e econômica	Verificação do atendimento dos itens	Uso de recursos, cargas ambientais, qualidade do ambiente interno e dos serviços, aspectos econômicos, gestão de transporte	Pontuação global do desempenho por categoria
CASBE	Ambiental	Verificação do atendimento dos itens. Classificação do edifício	Ambiente interno, qualidade dos serviços, ambiente externo (dentro do terreno), energia, recursos e materiais, ambiente externo (fora do terreno)	Cinco níveis de classificação, indicador global de eficiência
IPT	Ambiental e desempenho técnico	Atendimento de itens obrigatórios e classificatórios. Classificação do edifício	Impactos no meio ambiente, materiais e resíduos, energia e atmosfera, uso racional de água, conforto e salubridade	Cinco níveis de classificação, pontuação total obtida

A razão mais óbvia para este tipo de estratégia diz respeito à agenda para a sustentabilidade em países desenvolvidos absolutamente centrada naquela dimensão fruto do desenvolvimento praticado, que se por um lado levou a sociedade a um nível de qualidade de vida e igualdade social e de distribuição de riquezas sem precedentes, por outro lado causou a acentuação da eliminação dos recursos naturais em seus próprios territórios, ou como mais tarde seria comprovado, em escala global (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Ainda segundo os autores outra razão seria o conceito do reconhecimento do direito do “outro”, existente nos países desenvolvidos, seja ele um vizinho, um operário ou um bairro, que acarreta em um resultado prático de alto nível de regulamentação e de democratização na

tomada de decisão, que é orientada à produção, manutenção e renovação do ambiente urbano construído.

Ressaltam os autores que o Brasil tem um longo caminho a percorrer nestes dois aspectos e, portanto, a nossa agenda de sustentabilidade deve contemplar as suas várias dimensões, e qualquer iniciativa neste sentido, entre elas a avaliação de desempenho de edifícios deve alinhar-se a essa premissa.

Na opinião de Gibberd (2005) as nações em desenvolvimento devem endereçar as intervenções voltadas para o desenvolvimento sustentável, prioritariamente, para os segmentos sociais e econômicos.

Corroborando nesse sentido Libovich (2005) é de opinião que as nações em desenvolvimento não devem focar tão somente a performance ambiental já que os problemas econômicos e sociais estão no topo de suas agendas.

### 3 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO

#### 3.1 OS PROBLEMAS COMPLEXOS DE TOMADA DE DECISÃO

Na opinião de Gomes, Araya e Carignano (2004) as decisões podem ser simples, compostas, estratégicas, específicas, imediatas, de curto ou de longo prazo.

Segundo Costa (2006) dentre os elementos da teoria da decisão se destacam: o decisor que é a unidade responsável pela tomada de decisão; o analista que tem por objetivo auxiliar o decisor na tomada de decisão estruturando, analisando e apresentando argumentações; a alternativa viável que é a estratégia que pode ser adotada pelo decisor; o critério que funciona como a propriedade para a avaliação da alternativa, e o atributo que é o valor do desempenho da alternativa a luz do critério.

Cabe salientar que as decisões podem ser estabelecidas tomando por base um único critério ou uma coleção de critérios, respectivamente denominadas de decisões mono critério e decisões multicritério.

Simon (1965) nos alerta para o fato de que a tomada de decisão não é um ato preciso ou claramente identificável e sim um processo, ou seja, um processo decisório que não compreende apenas o ato final de escolha entre as alternativas, mas um processo completo de decisão com quatro fases: inteligência; concepção; escolha e revisão.

Ainda segundo Simon (1965) a decisão é precedida pela busca das possíveis alternativas de solução e respectivas conseqüências, bem como, pela avaliação comparativa dessas diversas conseqüências.

Com relação às situações de decisão Costa (2006) entende que as mesmas podem ser descritas da seguinte forma:

- a) escolha: selecionar uma alternativa de um conjunto de alternativas viáveis;

- b) classificação: classificar as alternativas viáveis em categorias pré-definidas;
- c) ordenação: estabelecer uma ordenação de preferência para as alternativas viáveis segundo algum critério;
- d) classificação ordenada: uma situação particularizada da situação de classificação, com a classificação das alternativas em categorias ordenadas pré-definidas;
- e) priorização: estabelecer uma ordem de prioridades para os elementos de um conjunto de alternativas.

Uma vez que um dos resultados deste projeto é contribuir para a obtenção de um índice que permita classificar a performance de determinada edificação escolar existente em relação a critérios especificados para os ditos edifícios sustentáveis, ou edifícios verdes, a análise desenvolvida no mesmo pode ser enquadrada como sendo uma problemática de classificação ordenada.

Hammond (1999) é de opinião que um processo decisório é eficaz na medida em que atende aos seguintes requisitos: concentração no que é importante; utilização da ética e da coerência; combinação dos pensamentos analíticos e intuitivos; utilização exclusiva para a análise da quantidade de informação estritamente necessária a partir de dados efetivamente relevantes, e utilização da segurança e flexibilidade.

Na maioria das ocasiões a tomada de decisão ocorre em um quadro multicritério e, portanto, uma tarefa complexa, quer seja executada individualmente ou em grupo.

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004) os problemas complexos de tomada de decisão guardam pelo menos uma das características a seguir:

- a) os critérios para a solução do problema são pelo menos dois, e conflitam entre si;
- b) tanto os critérios como as alternativas não estão bem definidas, e as conseqüências da escolha de uma alternativa em relação a um critério não são perfeitamente compreendidas;

- c) os critérios e as alternativas podem estar interligados, de forma que um critério pode parecer refletir outro critério, enquanto a eficácia por optar por uma alternativa específica depende de que outra seja ou não escolhida, para o caso das alternativas não serem mutuamente excludentes;
- d) a solução dos problemas depende de um grupo de pessoas, cada uma com pontos de vistas próprios, e em geral conflitantes;
- e) alguns dos critérios são quantificáveis, e alguns carecem de um juízo de valor efetuados sobre uma escala;
- f) a referida escala pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo da disponibilidade de dados e da natureza dos critérios.

### 3.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

Com o propósito de contribuir como suporte ao processo decisório típico em um quadro de múltiplos objetivos, múltiplos decisores e tratamento simultâneo de questões complexas, sejam elas, por exemplo, econômicas, sociais, ambientais ou políticas têm importância às metodologias denominadas na literatura de auxílio multicritério à decisão, Multicriteria Decision Making (MCDM) e Multicriteria Decision Aid (MCDA).

Cabe neste ponto destacar que os métodos MCDA têm por objetivo clarificar o problema no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, na maioria das vezes conflitantes (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2006).

Corroborando nessa visão Costa (2006) entende que uma das principais características dos métodos AMD é que os mesmos reconhecem a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e se utilizam do julgamento de valor para o tratamento científico

necessário. Adicionalmente o autor ressalta que tal propriedade facilita a incorporação de variáveis sociais e ambientais no tratamento dos problemas de decisão.

A seguir a Figura 2 apresenta de forma esquemática o processo de escolha da alternativa mais adequada segundo a abordagem multicritério.

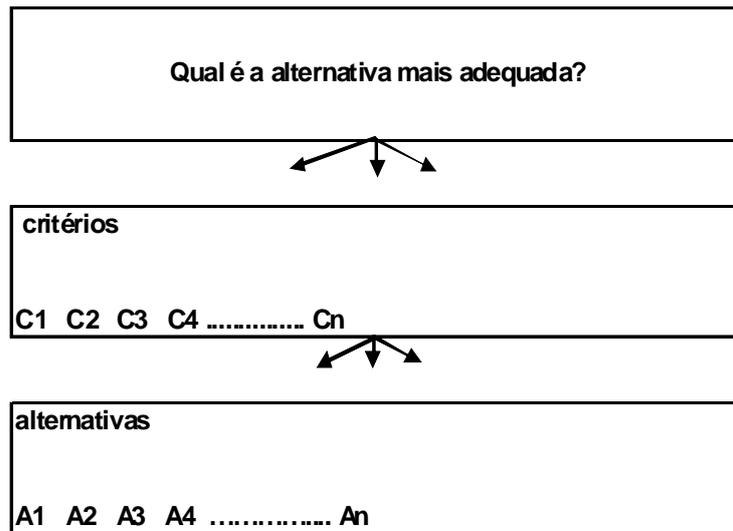


Figura 2 – Escolha da alternativa mais adequada: abordagem multicritério.

Fonte: Costa (2006).

Os métodos multicritério de apoio à decisão podem ser classificados segundo dois grandes blocos conceituais, ou seja: a escola Francesa, e a escola Americana, que tem a preferência global.

Os métodos da escola Francesa estabelecem uma relação binária para comparar os elementos favoráveis ou não favoráveis de cada uma das diversas alternativas. Tais métodos tomam por base que não há uma distinção clara entre as situações de preferências dos decisores com relação aos critérios e com relação às alternativas. Outrossim, os referidos métodos têm emprego preferencial para o caso da existência de muitos critérios qualitativos e heterogêneos.

Já a escola Americana compreende os métodos que tomam por base que as preferências dos decisores são representadas por uma função de utilidade ou de valor, são os chamados métodos discretos de agregação a um critério único de síntese, dentre os quais se destacam o AHP e o Método de utilidade multiatributo.

Tais métodos consideram que todos os estados são comparáveis; que mesmo os julgamentos dos critérios qualitativos podem ser expressos através de uma escala numérica, e determinam um valor numérico para cada alternativa proposta, que indica a sua posição relativa em uma ordenação.

Dentre os métodos da escola americana o mais utilizado nos mais diversos campos de pesquisa é o AHP, na medida em que propicia o tratamento de problemas complexos com múltiplos critérios, partes envolvidas e decisores, em um cenário de alta incerteza e grande risco (PARRA-LÓPEZ; CALATRAVRA REQUENA; HARO-GIMÉNEZ, 2007).

Ainda segundo os autores a referida ferramenta vem sendo empregada na Espanha para mensurar diferentes estratégias de proteção de áreas naturais, avaliar os eco sistemas naturais a partir de julgamentos de especialistas, proceder à avaliação e seleção ambiental dos principais modelos de gerenciamento de bacias hidrográficas e avaliar a performance ambiental dos sistemas convencional, orgânico e integrado do agronegócio de azeite.

Corroborando com essa visão Tiwari, Loof e Paudyal (1999) entendem que a ferramenta AHP provê um bom compromisso entre os alvos entendimento e objetividade, na medida em que a AHP é uma ferramenta suportada pela matemática básica que habilita pessoas comuns a ordenar fatores tangíveis e intangíveis em um processo de solução de conflitos ou de ordenação de prioridades.

Outrossim, segundo os autores a ferramenta AHP amplia a transparência e a objetividade do processo decisório na medida em que trabalha com múltiplos agentes que

podem explicitar suas preferências, bem como, facilita a detecção de itens controversos e propicia o estabelecimento de acordos.

A seguir estão listadas outras aplicações da referida ferramenta:

- a) avaliação da sustentabilidade de sistemas de uso da terra, Tailândia (TIWARI; LOOF; PAUDYAL, 1999);
- b) inventário e monitoração do gerenciamento de parques naturais nos Estados Unidos da América (PETERSON; SILSBEC, SDMOLDT, 1995);
- c) desenvolvimento de ferramenta de avaliação de edificação verde para países em desenvolvimento – Jordânia (ALI; NSAIRAT, 2009);
- d) adaptação de aspectos do GBTool 2005 – Pesquisando a sustentabilidade em Taiwan (CHANG; CHIANG; CHOU, 2007);
- e) método AHP aplicado ao produto, São Paulo - Brasil (WATANABE, 2004);
- f) identificação de áreas favoráveis ao agro ecossistema cafeeiro em escala municipal, São Paulo – Brasil (BARROS; MORENA; RUDORFF, 2007);
- g) fatores de decisão da adoção do gás natural na geração de energia elétrica em pequena escala; Natal – Brasil (SOUZA, 2007).

Cabe ainda destacar a posição de Parra-López, Calatrava Requena e Haro Gimenez (2007) a respeito da performance prática dos resultados obtidos com a utilização da AHP, já que, quando comparados com resultados conseguidos por outras ferramentas, que se utilizam de mais tempo e mais recursos, freqüentemente os mesmos são corroborados.

Tendo em vista as características do problema em estudo, bem como, as informações prestadas até aqui se optou pela utilização do método AHP, dentre as diversas ferramentas disponíveis de AMD, por se considerar que o referido método pode fornecer respostas consistentes para a questão central a ser respondida, qual seja: Quais são os critérios, subcritérios, famílias de indicadores e respectivos níveis relativos de importância, inerentes a

um método de avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes, customizado para aplicação na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro?

### 3.3 O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA - AHP

Segundo Saaty (1990), criador do método AHP, a teoria empregada no mesmo procura refletir o que parece ser o método de funcionamento natural da mente humana, que quando se defronta com uma situação complexa de muitas variáveis as agrega em clusters segundo propriedades comuns.

Na opinião de Costa (2006) o método está baseado em três princípios do pensamento analítico:

- a) construção de hierarquias de forma a identificar os elementos-chave para a melhor compreensão do problema e com isso facilitar a tomada de decisão;
- b) definição de prioridades a partir da comparação das diversas características duas a duas, à luz de um determinado foco (julgamento paritário);
- c) verificação da consistência lógica ou qualidade da solução obtida.

Ainda segundo o autor na construção e utilização do modelo são desenvolvidas quatro etapas, a saber:

- a) estruturação da hierarquia com o objetivo de identificar o objetivo principal, critérios, subcritérios e alternativas;
- b) coleta de dados dos julgamentos de valor emitidos por especialistas;
- c) cálculo da prioridade de cada alternativa;
- d) análise de consistência.

### 3.3.1 Estruturação da hierarquia

Para a construção da hierarquia, ponto de partida da modelagem, devem ser cumpridas as seguintes etapas, conforme Figura 3:

- a) identificação do objetivo central ou foco principal;
- b) determinação do conjunto de critérios, propriedades ou pontos de vista à luz do qual se deve avaliar os subcritérios, quando houver, ou as alternativas;
- c) determinação do conjunto de subcritérios, quando houver, à luz do qual se deve avaliar as alternativas;
- d) determinação do conjunto de alternativas viáveis.

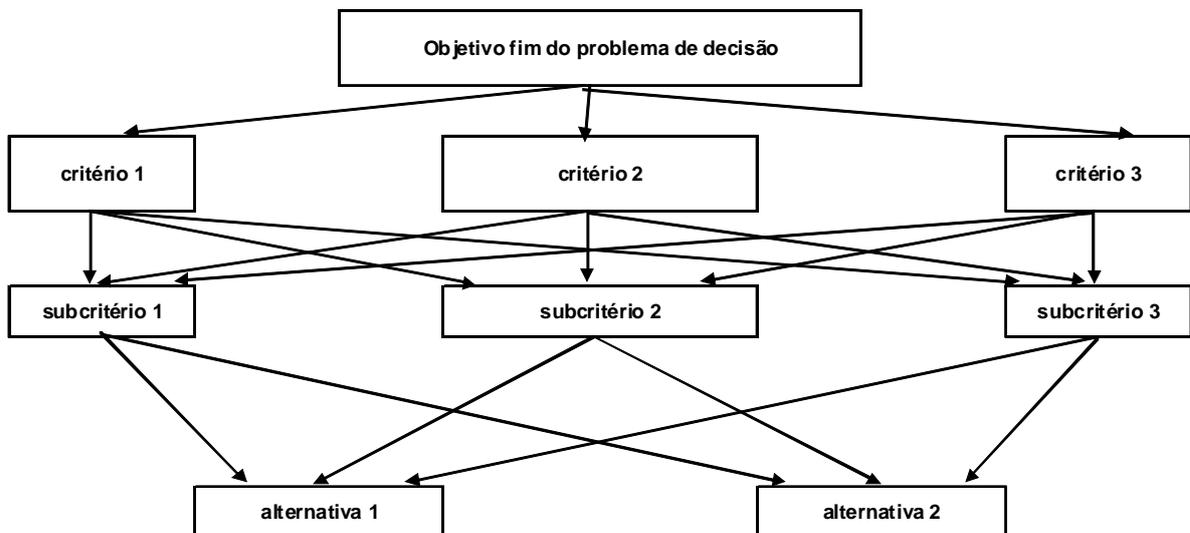


Figura 3 – Construção da hierarquia.

Cabe salientar que a construção de uma hierarquia exige conhecimento e experiência na área em estudo, bem como deve ser realizada de forma cuidadosa de forma a representar de forma fidedigna a problemática em tratamento.

### 3.3.2 Julgamentos de valor

Após a estruturação hierárquica da situação problema passa-se então para a fase de coleta dos julgamentos de valor que segundo Costa (2006) procura responder três questões principais: O que julgar? Como julgar? Quem deve julgar?

Com relação à primeira questão o avaliador deve realizar uma comparação par a par dos elementos de uma mesma camada da hierarquia à luz de cada um dos elementos em conexão, da camada imediatamente superior, conforme Figura 4.

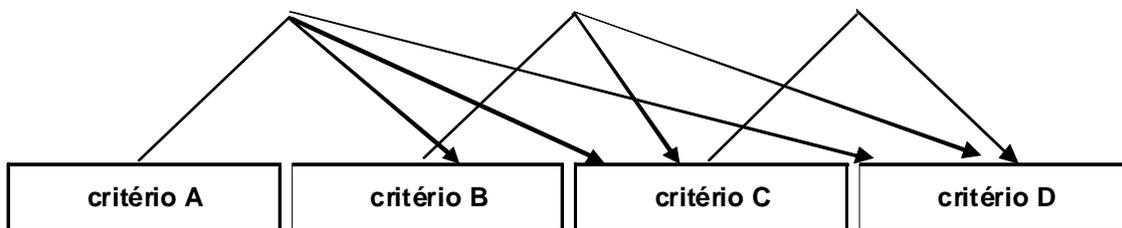


Figura 4 – Comparação par a par dos elementos de uma mesma camada.

Para efeito do julgamento deve ser considerada a escala fundamental proposta por Saaty (1991), conforme Quadro 1, que emprega nove níveis de intensidade de importância que correspondem aos números de 1 até 9.

Escala verbal	Escala numérica
Igual preferência (importância)	1
preferência (importância) moderada	3
preferência (importância) forte	5
preferência (importância) muito forte	7
preferência (importância) extrema	9
2, 4, 6 e 8 estão associados a julgamentos intermediários.	

Quadro 1 – Escala fundamental de julgamentos.

Fonte: Saaty (1991).

Já com relação à seleção dos avaliadores é imprescindível que os mesmos tenham um amplo conhecimento sobre a área em estudo, bem como alguma experiência na emissão de julgamentos de valor.

Cabe destacar a posição de Parra-López, Calatrava Requena e Haro Gimenez (2007) de que uma boa escolha dos especialistas contribui significativamente para o alcance de bons resultados, na medida em que o método AHP permite a captura e a síntese da informação presente nas mentes desses experts, seja ela caracterizada como qualitativa, quantitativa, tangível, intangível, objetiva e subjetiva.

### 3.3.3 Priorização das alternativas

Segundo Costa (2006) são as seguintes as etapas da priorização das alternativas: obtenção do quadro de julgamentos; obtenção do quadro de julgamentos normalizados; obtenção de prioridades médias locais e, obtenção de prioridades médias globais.

A obtenção de quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva, para cada nó de julgamento dos níveis hierárquicos, se dá a partir dos valores da escala de julgamento. Por se tratar de uma matriz recíproca os valores situados acima da diagonal principal são recíprocos aos valores correspondentes situados abaixo da diagonal, cujos valores são sempre iguais a um, conforme figura 5.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 5 – Matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva.

A etapa seguinte é a obtenção do quadro de julgamentos normalizados, segundo o roteiro abaixo:

- determinação do somatório de cada coluna do quadro de julgamentos;
- divisão de todos os elementos de cada coluna pelo somatório de cada coluna.

Já na fase seguinte são obtidas as prioridades médias locais (PML), ou vetor de prioridades local, para cada um dos nós de julgamentos ou quadros normalizados. As PML são as médias das colunas dos quadros normalizados. Em resumo a PML é a média aritmética dos elementos das linhas da matriz normalizada.

Para uma melhor compreensão o referido roteiro está exemplificado a partir da Figura 6, onde para uma matriz de 5 x 5 temos que  $C_i \times C_j$  é o resultado do julgamento da importância relativa de  $C_i$  por  $C_j$  à luz de um determinado fator.

Matriz inicial	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
Critério 1	1	$C1 \times C2$	$C1 \times C3$	$C1 \times C4$	$C1 \times C5$
Critério 2	$C2 \times C1$	1	$C2 \times C3$	$C2 \times C4$	$C2 \times C5$
Critério 3	$C3 \times C1$	$C3 \times C2$	1	$C3 \times C4$	$C3 \times C5$
Critério 4	$C4 \times C1$	$C4 \times C2$	$C4 \times C3$	1	$C4 \times C5$
Critério 5	$C5 \times C1$	$C5 \times C2$	$C5 \times C3$	$C5 \times C4$	1
Somatório das colunas.	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5

Matriz normalizada.	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Somatório das linhas.	PML
Critério 1	$1/SC1$	$C1 \times C2 / SC2$	$C1 \times C3 / SC3$	$C1 \times C4 / SC4$	$C1 \times C5 / SC5$	SL1	SL1/5
Critério 2	$C2 \times C1 / SC1$	$1/SC2$	$C2 \times C3$	$C2 \times C4 / SC4$	$C2 \times C5 / SC5$	SL2	SL2/5
Critério 3	$C3 \times C1 / SC1$	$C3 \times C2 / SC2$	$1/SC3$	$C3 \times C4 / SC4$	$C3 \times C5 / SC5$	SL3	SL3/5
Critério 4	$C4 \times C1 / SC1$	$C4 \times C2 / SC2$	$C4 \times C3 / SC3$	$1/SC4$	$C4 \times C5 / SC5$	SL4	SL4/5
Critério 5	$C5 \times C1 / SC1$	$C5 \times C2 / SC2$	$C5 \times C3 / SC3$	$C5 \times C4 / SC4$	$1/SC5$	SL5	SL5/5

Figura 6 – Exemplo de quadros para cálculo da PML.

Fonte: Adaptado de Correa (2004).

Finalmente são calculadas as prioridades médias globais (PG), cujos elementos representam os desempenhos das alternativas em relação ao objetivo principal. Para o cálculo de PG é necessário combinar as PML, no vetor de prioridades global.

### 3.3.4 Análise de consistência

Muito embora o necessário emprego de especialistas para a efetivação dos julgamentos de valor o método AHP prevê a eventualidade de que esses julgamentos sejam inconsistentes. Saaty (1991) propõe uma técnica para a avaliação da consistência ou determinação do grau de inconsistência em uma matriz de julgamentos paritários, traduzida pela equação para o cálculo do índice de consistência ( $I_c$ ), a saber:

$$I_c = (\lambda_{\text{máx.}} - N) / (N - 1)$$

Onde:

$N$  é a ordem da matriz;

$\lambda_{\text{máx.}}$  é o maior autovalor da matriz.

Segundo Costa (2002) são os seguintes os passos para a obtenção do  $\lambda_{\text{máx.}}$ :

- a) obter uma matriz auxiliar a partir do produto da matriz de comparações pela respectiva PML;
- b) determinar o vetor de prioridade auxiliar pela soma das linhas da matriz auxiliar;
- c) obter um novo vetor  $P$ , de mesma ordem que PML, e o vetor auxiliar, a partir da divisão de cada componente do vetor auxiliar pela respectiva componente do vetor da PML;
- d)  $\lambda_{\text{máx.}}$  é obtido a partir da divisão das componentes do vetor  $P$ , pela ordem da matriz.

SAATY (1991) propõe ainda o emprego da razão de consistência ( $R_C$ ) que permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos, segundo a equação:

$$R_C = I_C / I_R$$

Onde:

$I_C$  - Índice de consistência;

$I_R$  - Índice de consistência para uma matriz recíproca.

O índice de consistência para uma matriz recíproca ( $I_R$ ), com elementos não negativos e gerada de forma randômica, pode ser obtido a partir do Quadro 2, a seguir:

Ordem da matriz	Valores de $I_r$
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

Quadro 2 - Índice de consistência para uma matriz recíproca.

Fonte: Saaty (1991).

Ainda segundo o autor a aceitação de julgamentos está limitada a  $R_C \leq 0,1$ .

### 3.3.5 Limitações e críticas

Muito embora seja o método multicritério mais utilizado são várias as críticas ao mesmo. O “rank reversal” é uma das mais contundentes críticas ao AHP já que se utiliza de comparações paritárias e, na medida da saída de uma das alternativas, pode provocar uma mudança na ordem obtida previamente (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2002; COSTA, 2006).

Adicionalmente Choo, Schoner e Wedley (1999) apontam o uso de escala linear, em detrimento à escala geométrica, como mais um ponto fraco de importância no método.

Costa (2006) destaca ainda que a coleta de dados deve ser realizada a partir da escala de Saaty ou em variações validadas da mesma no sentido de se evitar a associação de conceitos e percepções para situações extremamente distintas.

Ainda segundo autor quando um critério apresentar uma importância muito alta em relação aos demais acarreta o aumento da possibilidade de se obter uma inconsistência situação essa que deve ser evitada, por exemplo, com o emprego de uma modelagem híbrida em que tais critérios sejam utilizados em etapa prévia ao AHP, mais especificamente na definição das alternativas viáveis.

Cabe ressaltar a problemática bastante freqüente da aplicação do método, quando se tem um grupo de decisores com pontos de vistas distintos, tipicamente o que acontece quando do tratamento das questões associadas à sustentabilidade, no tocante à obtenção de uma única matriz de comparações paritárias para todo o time de decisores, ou seja, a matriz do consenso, sem o emprego de técnicas puramente aritméticas (NOEL; ANITO, 1999; PARRA-LÓPEZ; CALATRAVRA REQUENA; HARO-GIMÉNEZ, 2007; CHANG; CHIANG; CHOU, 2007).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Na opinião de Lakatos et al. (2004) método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais, que com maior segurança e economia permite alcançar o objetivo detectando erros e auxiliando nas decisões do cientista. Ainda segundo os autores são cinco os métodos científicos:

- a) Indutivo: propõe que o conhecimento é fundamentado na experiência. A aproximação dos fenômenos vai das constatações mais particulares às leis e teorias;
- b) dedutivo: parte das teorias e leis mais gerais para prever fenômenos particulares;
- c) hipotético-dedutivo: de início se percebe que o conhecimento sobre um determinado assunto é insuficiente para explicar um fenômeno. São então formuladas hipóteses que são testadas ou falseadas, pelo processo de inferência dedutiva;
- d) dialético: propõe a interpretação dinâmica e total da realidade. Os fatos não podem ser considerados fora dos contextos social, político e econômico;
- e) fenomenológico: propõe que existem tantas realidades quantas forem as suas interpretações e comunicações.

Para Gil (1999) a pesquisa é o processo formal e sistemático para o desenvolvimento dado método científico que visa determinar respostas para problemas a partir da adoção de procedimentos científicos. Ainda segundo o autor existem três grandes tipos de pesquisa:

- a) exploratória: objetiva a maior familiaridade com o problema;
- b) explicativa ou experimental: objetiva explicar as relações de causa e efeito;
- c) descritiva: objetiva entender e descrever o problema de forma global.

Neste ponto cabe destacar que o método científico adotado é o método hipotético-dedutivo, bem como que a pesquisa se enquadra como sendo do tipo exploratória, haja vista o caráter recente e pouco tratado do tema escolhido, ou seja, a avaliação de sustentabilidade de edifícios escolares existentes, bem como o objetivo de desenvolver, esclarecer ou modificar conceitos e idéias.

No tocante às formas de abordagem, segundo as classificações de Godoy (1995) a referida pesquisa é dita qualitativa, na medida do contato direto do pesquisador com a situação em análise a fim de estabelecer a compreensão dos fenômenos segundo a perspectiva dos atores envolvidos.

São vários os instrumentos para a coleta de dados, ou seja: pesquisa documental; pesquisa bibliográfica, entrevistas, observações, questionários, etc. Na oportunidade, foram empregados como instrumentos de coleta de dados:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) observações em escolas existentes na cidade do Rio de Janeiro e Niterói;
- c) entrevistas informais com especialistas, mantenedores, docentes e usuários de edificações escolares existentes;
- d) questionários aplicados às partes envolvidas dos setores público e privado.

## 5 ETAPAS DA PESQUISA

A seguir estão apresentadas em detalhes as diversas etapas, ordenadas cronologicamente, necessárias ao desenvolvimento do tema, ou seja: revisão da bibliografia relacionada aos sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios; visitas a campo; entrevistas informais com as partes interessadas; revisão da bibliografia sobre análise multicritério; construção da hierarquia no AHP; procedimento de coleta de dados; tratamento dos dados, e apresentação de modelo de pontuação do resultado final da avaliação.

Durante a revisão da bibliografia relacionada à avaliação da sustentabilidade de edifícios, primeira etapa desta pesquisa, percebeu-se a existência de poucos trabalhos relacionados ao tratamento de avaliações de sustentabilidade em edifícios escolares existentes, motivo pelo qual se decidiu pelo foco neste tema.

Cabe destacar que na medida em que se procurou estabelecer o grupo de variáveis necessárias à estruturação de uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade edifícios, nesta primeira etapa, foram analisados os principais sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios, com o foco direcionado para a possibilidade de auto-aplicação da ferramenta por parte dos gestores de edificações escolares, bem como para os fatores de sucesso na implementação desses sistemas em vários países de diversos continentes.

Na fase seguinte foram realizadas visitas a campo com o objetivo de identificar as principais características sociais, econômicas e ambientais do contexto local da capital e região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, tomando por base as observações do pesquisador, bem como, o resultado das entrevistas informais com as principais partes interessadas na questão, ou seja: especialistas em sustentabilidade de edifícios; mantenedores; docentes e discentes, etc..

A terceira etapa consistiu da revisão da bibliografia das metodologias de análise multicritério visando à indicação de uso nesta pesquisa e que resultou na escolha da AHP, por motivos já tratados anteriormente.

A etapa seguinte foi destinada a construção da hierarquia no AHP, que inclui a decomposição do problema em suas características comuns e a formação da hierarquia propriamente dita, em seus diversos níveis, ou seja:

- a) definição do foco principal, ou objetivo central - para o caso da presente pesquisa: Importância relativa dos critérios, subcritérios e família de indicadores de uma avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes;
- b) definição do conjunto de critérios – dada a importância para os países em desenvolvimento, de uma abordagem holística para a questão da sustentabilidade foram definidos como critérios os aspectos econômicos, os aspectos ambientais e os aspectos sociais. A Figura 7 apresenta a representação esquemática resultante considerando o objetivo central e os critérios estabelecidos;



Figura 7 – Objetivo central e conjunto de critérios da matriz.

- c) definição dos subcritérios – a partir das análises das principais características dos principais sistemas de avaliação de performance de sustentabilidade de edifícios em utilização nos mais diversos países de todos os continentes, bem como tomando por base o contexto local foram estabelecidos os seguintes subcritérios, para cada um dos critérios determinados anteriormente:

- critério “aspectos econômicos”: investimentos em operação e despesas em operação e manutenção – O & M, conforme Figura 8.

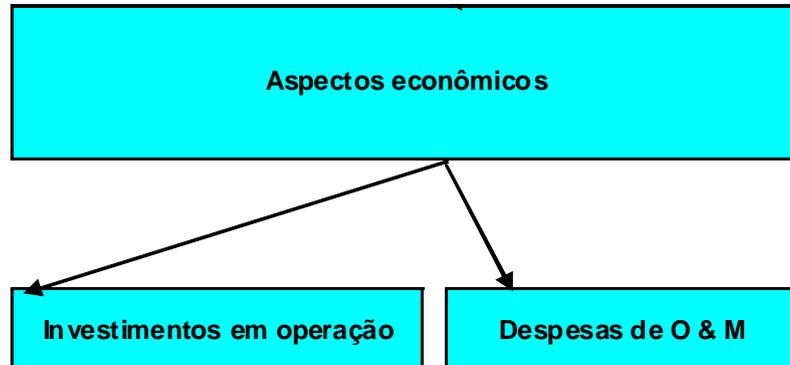


Figura 8 – Critério “aspectos econômicos” e respectivos subcritérios.

- critério “aspectos ambientais”: eco-gestao, uso eficiente da água, uso eficiente da energia, materiais e recursos, resíduos e poluição e sítio sustentável, conforme Figura 9.

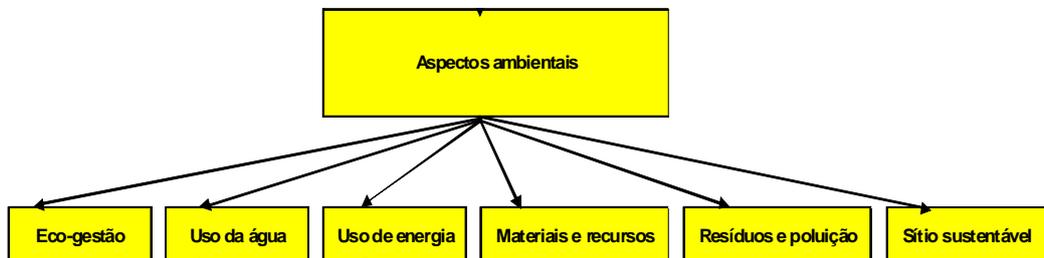


Figura 9 – Critério "aspectos ambientais" e respectivos subcritérios.

- critério “aspectos sociais”: conforto e saúde e segurança, conforme Figura 10.

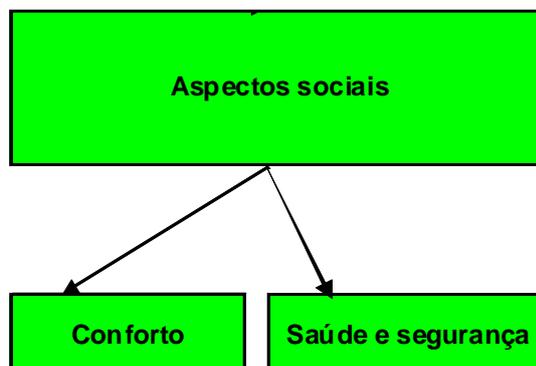


Figura 10 – Critério “aspectos sociais” e respectivos subcritérios.

d) definição das famílias de indicadores – são as seguintes as famílias de indicadores propostas para cada um dos subcritérios estabelecidos anteriormente:

- subcritério investimento em operação: substituição de dispositivos e equipamentos com a vida útil esgotada, emprego de sistemas automatizados, evolução da dotação orçamentária anual, gasto real/gasto planejado e planejamento do Investimento em operação;
- subcritério despesa em O & M: substituição de dispositivos e equipamentos por outros similares, substituição de dispositivos e equipamentos por outros mais eficientes, gasto real/gasto planejado, evolução da dotação orçamentária anual e planejamento da O & M;
- subcritério – eco-gestão: sistema de gestão de rejeitos, sistema de gestão do uso da água e sistema de gestão do uso de energia;
- subcritério uso eficiente da água: performance de consumo, sistema de detecção de vazamentos, irrigação proveniente de coleta e tratamento de água da chuva, sistema automático de otimização de consumo e emprego de tecnologia inovadora;
- subcritério uso eficiente da energia: performance de consumo com o uso de fonte renovável, sistema automático de otimização de consumo, performance de consumo de energia não renovável e emprego de tecnologia inovadora;
- subcritério materiais e recursos: local para depósito e coleta de recicláveis, uso de materiais recicláveis, uso de materiais de produção local ou regional, reuso de recursos e uso de materiais de fontes sustentáveis;
- subcritério resíduos e poluição: performance na produção de resíduos sólidos, performance na geração de emissões, performance na geração de efluentes líquidos, performance na geração de lixo perigoso e emprego de tecnologia inovadora;

- subcritério sítio sustentável: eficiência da infra-estrutura, sistema de transporte alternativo, uso do espaço de forma adequada, relação do edifício com o seu entorno e projeto paisagístico adequado;
- subcritério conforto: conforto higrotérmico do interior e do exterior, conforto acústico do interior e do exterior, conforto visual do interior e do exterior e conforto olfativo do interior e do exterior;
- subcritério saúde e segurança: qualidade sanitária dos ambientes, qualidade sanitária da água, qualidade sanitária do ar e segurança pessoal e do trabalho.

Na Figura 11, a seguir, está representada a matriz resultante do emprego da metodologia AHP.

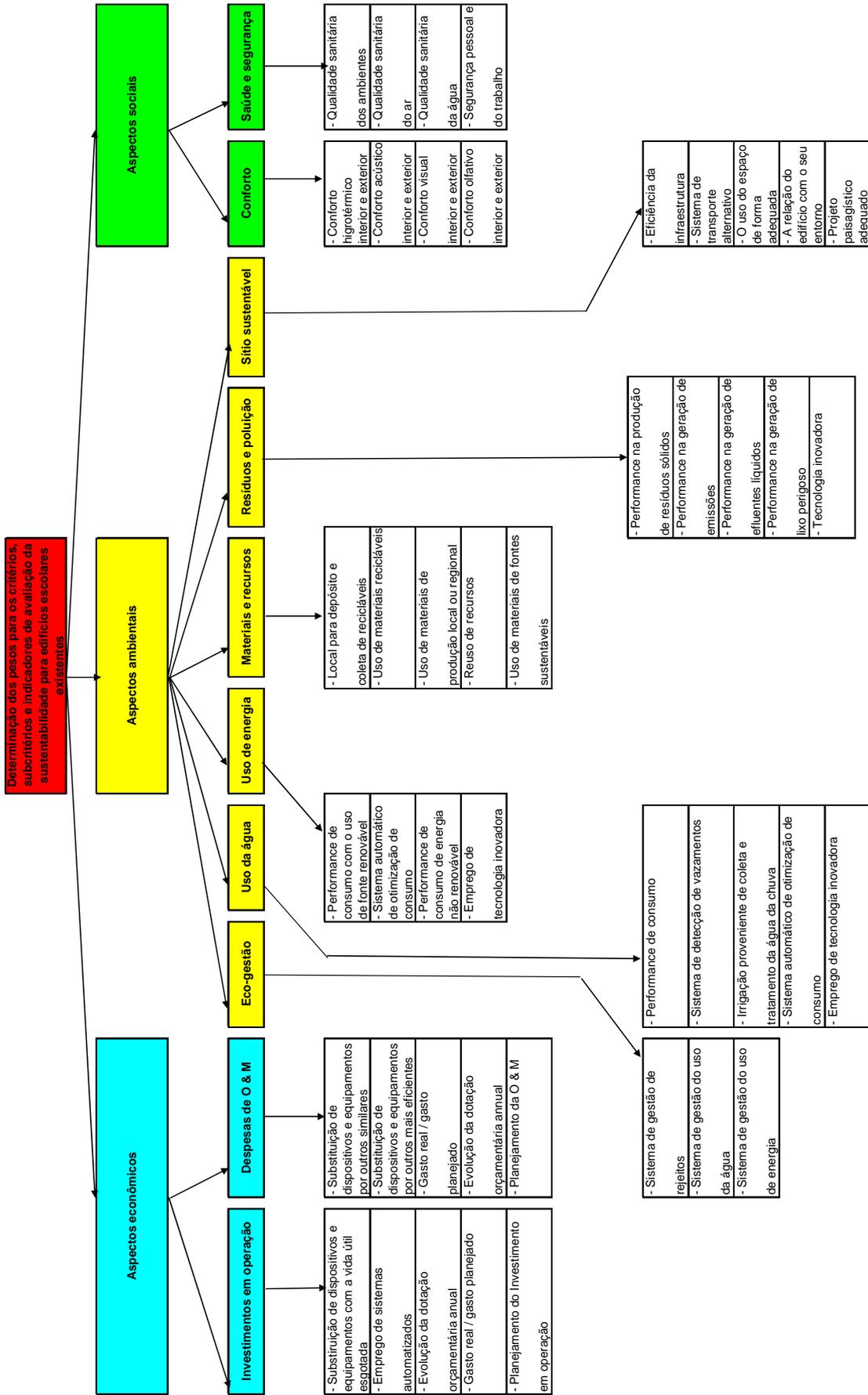


Figura 11 – Matriz de critérios, subcritérios e famílias de indicadores.

Ainda nesta etapa foram selecionados os avaliadores que em última análise são os responsáveis pelos julgamentos de valor, ou seja, a importância relativa das alternativas à luz dos subcritérios, a importância relativa dos subcritérios à luz dos critérios e, a importância relativa dos critérios à luz do objetivo principal.

Cabe aqui destacar a posição de Parra-López, Calatrava Requena e Haro Gimenez (2007) para quem quando a decisão envolver a participação de diferentes agentes, quando da agregação dos julgamentos individuais em julgamento do grupo, não deve ser empregado um tratamento puramente aritmético, e sim uma ferramenta específica que funciona como uma extensão da AHP como, por exemplo, o Geometric Mean Method (GMM), de uso mais difundido, que atende às propriedades: unanimidade, homogeneidade e reciprocidade.

Ainda segundo os autores o uso de julgamentos individuais de cada especialista não é conveniente na medida em que normalmente os mesmos possuem muito conhecimento sobre uma única disciplina e, portanto, não devem ser chamados a responder sobre ramos da hierarquia em que não tem o domínio necessário.

Os autores entendem que no máximo podem ser criados clusters de especialistas por área do conhecimento e, posteriormente, ser empregada uma ferramenta específica para o tratamento dos julgamentos individuais dentro dos mesmos.

Dada a posição de Costa (2006) para quem em cada etapa de julgamento da AHP devem ser utilizados avaliadores que possuam um alto conhecimento sobre o tópico em julgamento, nesta pesquisa foi utilizado avaliador exclusivo por subcritério para julgamento das alternativas, no caso as famílias de indicadores, com o seguinte perfil principal:

- a) investimento em operação: profissional de engenharia civil responsável pela área de orçamento e custos de investimento em operação e manutenção de campus universitário a cerca de três anos e com mestrado em engenharia civil;

- b) despesas em O & M: profissional de engenharia responsável pela operação e manutenção de campus universitário a cerca de dez anos, com mestrado na área de meio ambiente;
- c) eco-gestao: profissional na área de direito com doutorado em área relacionada ao meio ambiente, atuando a cerca de cinco anos no gerenciamento de projetos junto a pequenas e médias empresas;
- d) uso eficiente da água: profissional de engenharia sanitária com cerca de 30 anos de experiência e docente de graduação com mestrado em meio ambiente;
- e) uso eficiente da energia: docente doutor em engenharia com cerca de 20 anos de experiência;
- f) materiais e recursos: profissional de engenharia atuando a cerca de cinco anos em órgão de governo, com mestrado em engenharia civil;
- g) resíduos e poluição: docente doutor em química com cerca de vinte anos de experiência;
- h) sítio sustentável: profissional da área de arquitetura com cerca de cinco anos de experiência e, mestrando em meio ambiente;
- i) conforto: profissional da área de arquitetura, com cerca de dez anos de experiência, especialista em conforto em edificações, doutorando em programa de engenharia civil;
- j) saúde e segurança: profissional da área de engenharia mecânica e de segurança do trabalho, a cerca de dez anos, com mestrado na área de meio ambiente.

Deve ser ressaltado que para os julgamentos de valor dos subcritérios à luz dos critérios e dos critérios à luz do objetivo principal foi utilizado um único avaliador com o seguinte perfil: docente pós - doutor em engenharia ambiental, perito ambiental e auditor líder dos sistemas da qualidade e do meio ambiente, com cerca de 20 anos de experiência.



No início da sexta etapa o questionário passava pelo teste de consistência do método AHP e, caso julgado inconsistente, o mesmo era descartado e o especialista solicitado a um novo preenchimento.

Ainda nesta etapa foi possível conhecer os resultados das importâncias relativas para os diversos critérios, subcritérios e famílias de indicadores, e com isso permitir a estruturação de uma modelagem para a avaliação da sustentabilidade de edifícios escolares existentes.

Na sétima e última etapa foi destinada à apresentação de proposta de apuração de resultado final da avaliação da sustentabilidade de edificações escolares existentes, ver Figura 13, conforme descrito a seguir:

- a) a nota auferida por cada uma das famílias de indicadores, estabelecida em três possíveis níveis (0,0 – não atende aos requisitos básicos; 0,5 – atende aos requisitos básicos e 1,0 supera os requerimentos básicos) deve ser multiplicada pelo peso obtido para a respectiva família, formando o resultado para a família de indicadores;
- b) a seguir é possível calcular o resultado de cada subcritério a partir do somatório de todos os resultados das famílias de indicadores associadas ao subcritério;
- c) o cálculo seguinte é o resultado do critério que toma por base o somatório dos resultados dos subcritérios associados ao critério;
- d) finalmente o resultado da avaliação é obtido pelo somatório dos resultados dos critérios.

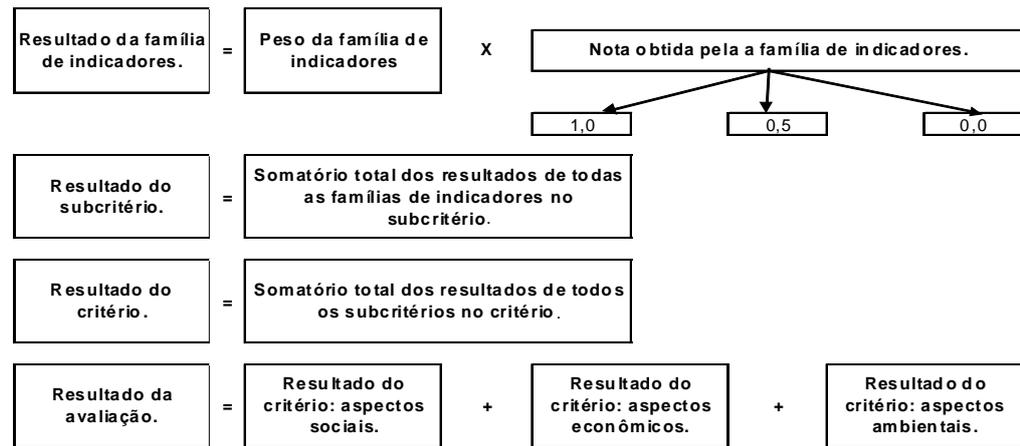


Figura 13 – Apuração do resultado final da avaliação.

Fonte: Adaptado de Ali e Nsairat (2009).

Baseado em critérios de categorização de performance estabelecidos em sistemas mundialmente conhecidos tais como o LEED, BREEAM e GBTool, é possível a partir do percentual de pontos obtidos em relação ao total de pontos envolvidos na avaliação estabelecer a seguinte proposta de níveis de performance: muito sustentável – de 80% até 100%; sustentável – de 50% até 79% e, a caminho da sustentabilidade - de 0% até 49%.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 COLETA DOS JULGAMENTOS

Para a fase de coleta de julgamentos dos especialistas foram utilizados os formulários apresentados nos Apêndices de A até K, estruturados por subcritério de tal forma que cada especialista entrevistado só teve acesso às questões relativas à sua área de eficácia.

### 6.2 PRIORIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E ANÁLISE DE CONCISTÊNCIA

#### 6.2.1 Primeiro nível hierárquico

A seguir estão apresentados os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP, para o primeiro nível hierárquico, ou seja: aspectos econômicos, ambientais e sociais da estrutura hierárquica proposta:

- a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 7 \quad 2,33 \quad 2,33$$

$$\begin{bmatrix} 0,14 & 0,14 & 0,14 \\ 0,43 & 0,43 & 0,43 \\ 0,43 & 0,43 & 0,43 \end{bmatrix}$$

- c) prioridades médias locais (PML);

PML  
 0,14  
 0,43  
 0,43

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
 0,14  
 0,43  
 0,43

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,14 & 1/3 \times 0,43 & 1/3 \times 0,43 \\ 3 \times 0,14 & 1 \times 0,43 & 1 \times 0,43 \\ 3 \times 0,14 & 1 \times 0,43 & 1 \times 0,43 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,14 & 0,14 & 0,14 \\ 0,42 & 0,43 & 0,43 \\ 0,42 & 0,43 & 0,43 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,14 + 0,14 + 0,14 &= 0,42 \\ 0,42 + 0,43 + 0,43 &= 1,28 \\ 0,42 + 0,43 + 0,43 &= 1,28 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,42 / 0,14; 1,28 / 0,43; 1,28 / 0,43) = (3; 2,98; 2,98)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (3 + 2,98 + 2,98) / 3 = 2,99$$

g) cálculo do Índice de Consistência – IC.

$$IC = |2,99 - 3| / (3 - 1) = 0,01 / 2 = 0,005$$

h) cálculo da Razão de Consistência – RC

$$RC = 0,005 / 0,58 = 0,008 \leq 0,1$$

A Figura 14 apresenta a importância relativa de cada um dos critérios em relação ao objetivo principal.

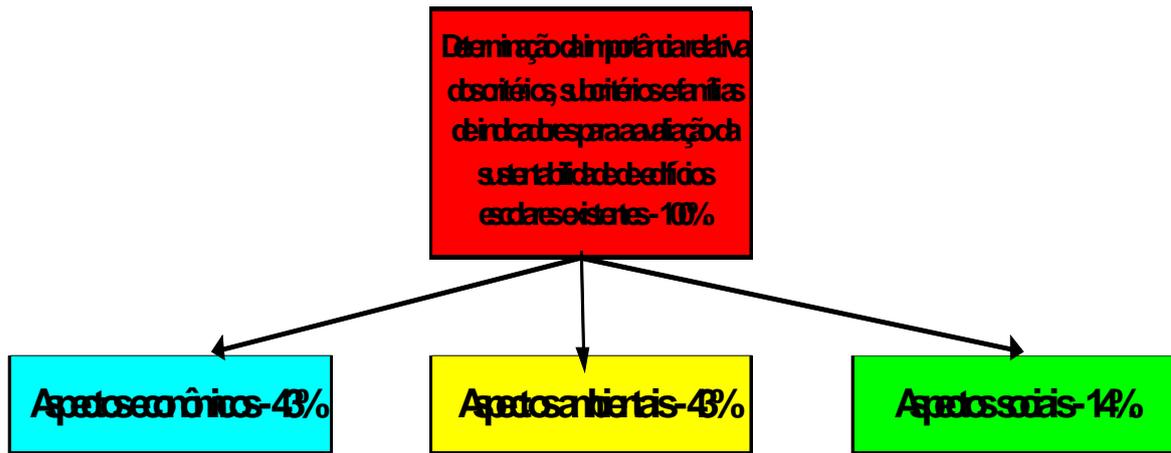


Figura 14 – Importância relativa dos critérios em relação ao objetivo principal.

O resultado da avaliação da importância relativa dos critérios ‘aspectos econômicos’, ‘aspectos ambientais’ e ‘aspectos sociais’ em relação ao objetivo principal revela que os dois primeiros critérios têm a mesma importância relativa, bem como são mais importantes que o critério ‘aspectos sociais’, o que em princípio demonstra um alinhamento com a modelagem proposta para países desenvolvidos, onde os aspectos sociais não possuem peso relevante, já que as necessidades da maioria da população naqueles países já se encontram atendidas.

### 6.2.2 Segundo nível hierárquico

Abaixo estão apresentados os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP, para o segundo nível hierárquico, no tocante aos aspectos sociais, da estrutura hierárquica proposta:

- a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\sum \quad 6 \quad 1,2$$

$$\begin{bmatrix} 0,17 & 0,17 \\ 0,83 & 0,83 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

$$\begin{array}{l} \text{PML} \\ 0,17 \\ 0,83 \end{array}$$

d) prioridades médias globais (PG);

$$\begin{array}{l} \text{PG} \\ 0,024 \\ 0,116 \end{array}$$

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,17 & 0,2 \times 0,83 \\ 5 \times 0,17 & 1 \times 0,83 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,17 & 0,17 \\ 0,85 & 0,83 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{array}{l} 0,17 + 0,17 = 0,34 \\ 0,85 + 0,83 = 1,68 \end{array}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,34 / 0,17; 1,68 / 0,83) = (2; 0,84)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (2 + 0,84) / 2 = 1,42$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |1,42 - 2| / 2 - 1 = 0,58$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,58 / 0,00 \leq 0,1$$

A Figura 15, a seguir, apresenta a importância relativa do critério “aspectos sociais” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

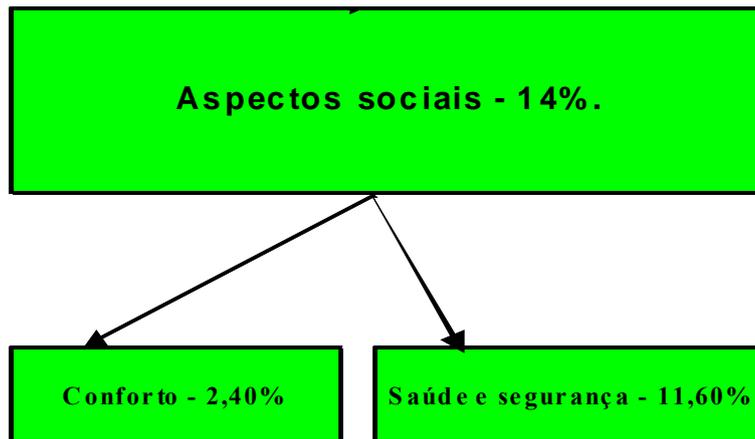


Figura 15 – Importância relativa do critério “aspectos sociais” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

O resultado da avaliação da importância relativa dos subcritérios “conforto” e “saúde e segurança” em relação ao critério “aspectos sociais” demonstra que o subcritério “saúde e segurança” é o mais prioritário, o que em princípio era esperado, já que os indicadores de desempenho nos setores de saúde e de segurança em países em desenvolvimento normalmente deixam a desejar, despertando na população em geral, uma percepção de importância relativa bem significativa.

Os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o segundo nível hierárquico, no tocante aos aspectos econômicos, da estrutura hierárquica proposta, estão apresentados a seguir:

- a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 2 \quad 2$$

$$\begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}$$

- c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,5  
0,5

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,215  
0,215

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,5 & 1 \times 0,5 \\ 1 \times 0,5 & 1 \times 0,5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$0,5 + 0,5 = 1$$

$$0,5 + 0,5 = 1$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (1 / 0,5; 1 / 0,5) = (2; 2)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (2 + 2) / 2 = 2$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |2 - 2| / (2 - 1) = 0$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC);

$$RC = 0 / 0,00 \leq 0,1$$

A Figura 16, a seguir, apresenta a importância relativa do critério “aspectos econômicos” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

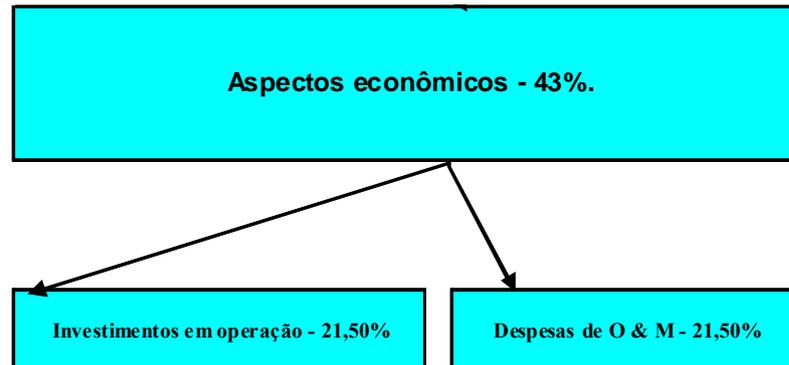


Figura 16 – Importância relativa do critério “aspectos econômicos” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

Como pode ser observado foi obtido o mesmo nível de importância para a avaliação dos subcritérios “investimento em operação” e “despesas de O&M”, em relação ao critério “aspectos econômicos”, revelando um adequado nível de preocupação com a área de operação e manutenção, na medida em que as preocupações não estão apenas com os gastos da rubrica despesa, mas também com os custos referentes aos investimentos para a renovação e substituição de componentes e sistemas em fim de vida útil ou de performance inadequada.

Os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o segundo nível hierárquico, no tocante aos aspectos ambientais, da estrutura hierárquica proposta, estão apresentados a seguir:

- a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 5 & 1 & 7 & 5 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 3 & 1 & 1/3 & 7 & 1 \\ 1 & 7 & 3 & 1 & 7 & 5 \\ 1/7 & 1 & 1/7 & 1/7 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 3 & 1 & 1/5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) quadro de julgamentos normalizados;

$\Sigma$	2,68	22	10,47	2,81	26	12,66
----------	------	----	-------	------	----	-------

$$\begin{bmatrix} 0,37 & 0,32 & 0,48 & 0,36 & 0,27 & 0,40 \\ 0,05 & 0,05 & 0,03 & 0,05 & 0,04 & 0,03 \\ 0,07 & 0,14 & 0,10 & 0,12 & 0,27 & 0,08 \\ 0,37 & 0,32 & 0,14 & 0,36 & 0,27 & 0,40 \\ 0,05 & 0,05 & 0,01 & 0,05 & 0,04 & 0,03 \\ 0,07 & 0,14 & 0,10 & 0,07 & 0,12 & 0,08 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
 0,36  
 0,04  
 0,12  
 0,30  
 0,03  
 0,15

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
 0,155  
 0,017  
 0,052  
 0,129  
 0,013  
 0,064

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,36 & 7 \times 0,04 & 5 & \times 0,12 & 1 & \times 0,3 & 7 \times 0,03 & 5 & \times 0,15 \\ 0,14 \times 0,36 & 1 & \times 0,04 & 0,33 \times 0,12 & 0,14 \times 0,3 & 1 & \times 0,03 & 0,33 \times 0,15 \\ 0,2 & \times 0,36 & 3 \times 0,04 & 1 & \times 0,12 & 0,33 \times 0,3 & 7 \times 0,03 & 1 & \times 0,15 \\ 1 & \times 0,36 & 7 \times 0,04 & 3 & \times 0,12 & 1 & \times 0,3 & 7 \times 0,03 & 5 & \times 0,15 \\ 0,14 \times 0,36 & 1 & \times 0,04 & 0,14 \times 0,12 & 0,14 \times 0,3 & 1 & \times 0,03 & 0,33 \times 0,15 \\ 0,2 & \times 0,36 & 3 \times 0,04 & 1 & \times 0,12 & 0,2 & \times 0,3 & 3 \times 0,03 & 1 & \times 0,15 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,36 + 0,28 + 0,60 + 0,30 + 0,21 + 0,75 &= 2,50 \\ 0,05 + 0,04 + 0,04 + 0,04 + 0,03 + 0,05 &= 0,25 \\ 0,07 + 0,12 + 0,12 + 0,10 + 0,21 + 0,15 &= 0,77 \\ 0,36 + 0,28 + 0,36 + 0,30 + 0,21 + 0,75 &= 2,26 \\ 0,05 + 0,04 + 0,02 + 0,04 + 0,03 + 0,05 &= 0,23 \\ 0,07 + 0,12 + 0,12 + 0,06 + 0,09 + 0,15 &= 0,61 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (2,5 / 0,36; 0,25 / 0,04; 0,77 / 0,12; 2,26 / 0,3; 0,23 / 0,03; 0,61 / 0,15)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (6,9; 6,25; 6,41; 7,53; 7,66; 4,06)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (6,9 + 6,25 + 6,41 + 7,53 + 7,66 + 4,06) / 6 = 6,3$$

g) cálculo do Índice de Consistência – IC.

$$IC = |6,3 - 6| / 6 - 1 = 0,3 / 5 = 0,06$$

h) cálculo da Razão de Consistência – RC

$$RC = 0,06 / 1,24 = 0,05 \leq 0,1$$

A Figura 17, a seguir, apresenta a importância relativa do critério “aspectos ambientais” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

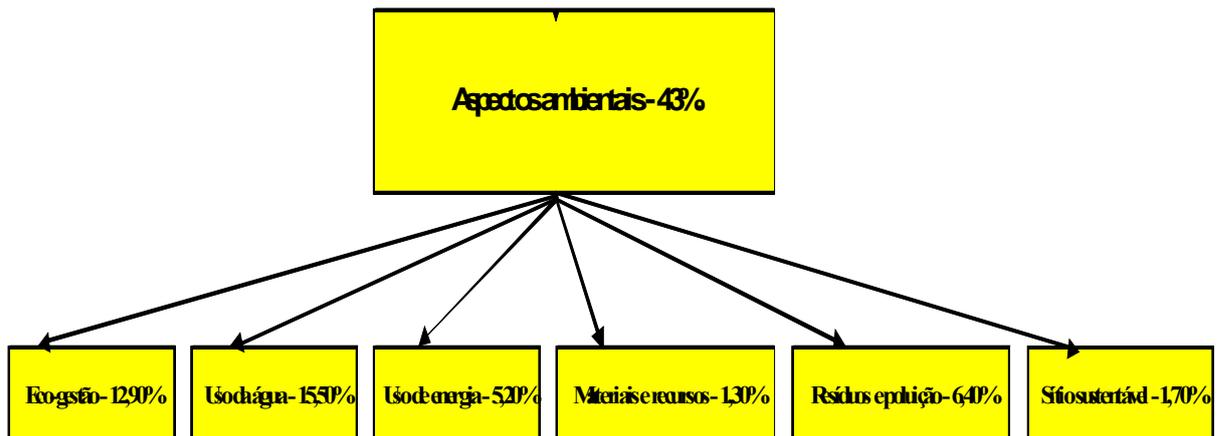


Figura 17 – Importância relativa do critério “aspectos ambientais” e dos respectivos subcritérios, em relação ao objetivo principal.

O resultado da avaliação da importância relativa para os subcritérios “eco-gestão”, “uso da água”, “uso de energia”, “resíduos e poluição”, “sítio sustentável” e “materiais e recursos” em relação ao critério “aspectos ambientais” revela o subcritério “uso da água” como aquele de maior importância o que demonstra um bom nível de adequação ao contexto local, uma vez às dificuldades e os custos envolvidos com os sistemas de abastecimento de água nas grandes cidades brasileiras.

Cabe ainda destacar a posição relativa do subcritério “eco-gestão”, o segundo na ordem de importância, demonstrando o alinhamento necessário ao tratamento otimizado das questões ambientais.

### 6.2.3 Terceiro nível hierárquico

A seguir estão apresentados os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o terceiro nível hierárquico, no tocante ao subcritério saúde e segurança, da estrutura hierárquica proposta:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 2 & 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 10 \quad 10 \quad 4,66 \quad 1,73$$

$$\begin{bmatrix} 0,10 & 0,10 & 0,07 & 0,12 \\ 0,10 & 0,10 & 0,07 & 0,12 \\ 0,30 & 0,30 & 0,21 & 0,19 \\ 0,50 & 0,50 & 0,64 & 0,58 \end{bmatrix}$$

c) prioridades medias locais (PML);

PML  
0,10  
0,10  
0,25  
0,55

d) prioridades medias globais (PG);

PG  
0,012  
0,012  
0,029  
0,063

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,10 & 1 \times 0,10 & 0,33 \times 0,25 & 0,20 \times 0,55 \\ 1 \times 0,10 & 1 \times 0,10 & 0,33 \times 0,25 & 0,20 \times 0,55 \\ 3 \times 0,10 & 3 \times 0,10 & 1 \times 0,25 & 0,33 \times 0,55 \\ 5 \times 0,10 & 5 \times 0,10 & 3 \times 0,25 & 1 \times 0,55 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,10 & 0,10 & 0,08 & 0,11 \\ 0,10 & 0,10 & 0,08 & 0,11 \\ 0,30 & 0,30 & 0,25 & 0,18 \\ 0,50 & 0,50 & 0,75 & 0,55 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$0,10 + 0,10 + 0,08 + 0,11 = 0,39$$

$$0,10 + 0,10 + 0,08 + 0,11 = 0,39$$

$$0,30 + 0,30 + 0,25 + 0,18 = 1,03$$

$$0,50 + 0,50 + 0,75 + 0,55 = 2,30$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,39 / 0,10; 0,39 / 0,10; 1,03 / 0,25; 2,30 / 0,55)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (3,9; 3,9; 4,12; 4,18)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (3,9 + 3,9 + 4,12 + 4,18) / 4 = 4,03$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |4,03 - 4| / (4 - 1) = 0,03 / 3 = 0,01$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC);

$$RC = 0,01 / 0,90 = 0,01 \leq 0,1$$

A Figura 18, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “saúde e segurança” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

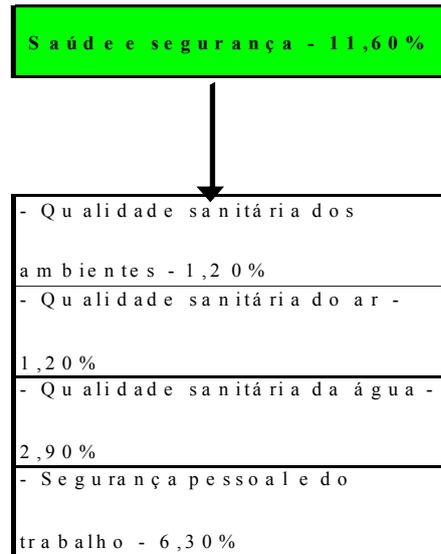


Figura 18 - Importância relativa do subcritério “saúde e segurança” e das respectivas famílias de indicadores em relação ao objetivo principal.

Observa-se pelos resultados que a família de indicadores mais importante é a família relativa à segurança pessoal e do trabalho, seguida da qualidade sanitária da água. Tal destaque para a família da segurança pessoal e do trabalho pode ser justificada pelos altos índices de acidentes no trabalho e de violência no Rio de Janeiro.

Os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o terceiro nível hierárquico, no tocante ao subcritério conforto, da estrutura hierárquica proposta, estão apresentados abaixo:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 9 \\ 1/5 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 1,45 \quad 6,53 \quad 11,33 \quad 18$$

$$\begin{bmatrix} 0,69 & 0,77 & 0,62 & 0,50 \\ 0,14 & 0,15 & 0,26 & 0,28 \\ 0,10 & 0,05 & 0,09 & 0,17 \\ 0,08 & 0,03 & 0,03 & 0,06 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,65  
0,21  
0,10  
0,05

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,016  
0,005  
0,002  
0,001

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ )

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,65 & 5 & \times 0,21 & 7 & \times 0,10 & 9 & \times 0,05 \\ 0,20 & \times 0,65 & 1 & \times 0,21 & 3 & \times 0,10 & 5 & \times 0,05 \\ 0,14 & \times 0,65 & 0,33 & \times 0,21 & 1 & \times 0,10 & 3 & \times 0,05 \\ 0,11 & \times 0,65 & 0,20 & \times 0,21 & 0,33 & \times 0,10 & 1 & \times 0,05 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,65 & 1,05 & 0,70 & 0,45 \\ 0,13 & 0,21 & 0,30 & 0,25 \\ 0,09 & 0,07 & 0,10 & 0,15 \\ 0,07 & 0,04 & 0,03 & 0,05 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ )

$$0,65 + 1,05 + 0,70 + 0,45 = 2,85$$

$$0,13 + 0,21 + 0,30 + 0,25 = 0,89$$

$$0,09 + 0,07 + 0,10 + 0,15 = 0,41$$

$$0,07 + 0,04 + 0,03 + 0,05 = 0,19$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (2,85 / 0,65; 0,89 / 0,21; 0,41 / 0,10; 0,19 / 0,05)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (4,38; 4,23; 4,1; 3,8)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (4,38 + 4,23 + 4,1 + 3,8) / 4 = 4,13$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |4,13 - 4| / (4 - 1) = 0,13 / 3 = 0,04$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,04 / 0,90 = 0,04 \leq 0,1$$

A Figura 19, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “conforto” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

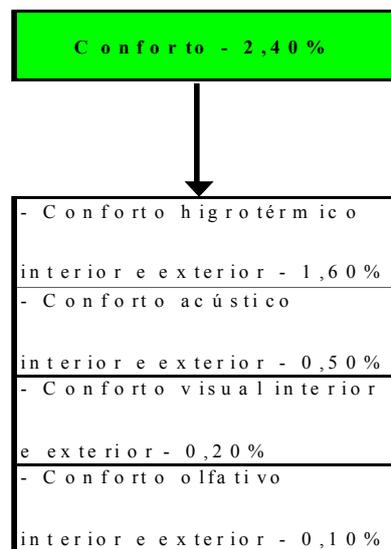


Figura 19 - Importância relativa do subcritério “conforto” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Os resultados revelam que a família de indicadores referente ao conforto higrotérmico representa a prioridade no tocante ao subcritério “conforto” o que pode ser justificado uma vez as condições climáticas na cidade.

A seguir estão apresentados os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o terceiro nível hierárquico, no tocante ao subcritério uso eficiente da água, da estrutura hierárquica proposta:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 5 & 1 & 5 & 7 & 9 \\ 3 & 1/5 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 10,33 \quad 1,78 \quad 6,86 \quad 12,33 \quad 21$$

$$\begin{bmatrix} 0,10 & 0,11 & 0,05 & 0,08 & 0,14 \\ 0,48 & 0,56 & 0,73 & 0,57 & 0,43 \\ 0,30 & 0,11 & 0,15 & 0,24 & 0,24 \\ 0,10 & 0,08 & 0,05 & 0,08 & 0,14 \\ 0,03 & 0,06 & 0,03 & 0,03 & 0,05 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

$$\begin{array}{l} \text{PML} \\ 0,10 \\ 0,55 \\ 0,21 \\ 0,10 \\ 0,04 \end{array}$$

d) prioridades médias globais (PG);

$$\begin{array}{l} \text{PG} \\ 0,015 \\ 0,086 \\ 0,033 \\ 0,016 \\ 0,005 \end{array}$$

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,10 & 0,20 \times 0,55 & 0,33 \times 0,21 & 1 & \times 0,10 & 3 \times 0,04 \\ 5 & \times 0,10 & 1 & \times 0,55 & 5 & \times 0,21 & 7 \times 0,10 & 9 \times 0,04 \\ 3 & \times 0,10 & 0,20 \times 0,55 & 1 & \times 0,21 & 3 & \times 0,10 & 5 \times 0,04 \\ 1 & \times 0,10 & 0,14 \times 0,55 & 0,33 \times 0,21 & 1 & \times 0,10 & 3 \times 0,04 \\ 0,33 \times 0,10 & 0,11 \times 0,55 & 0,20 \times 0,21 & 0,33 \times 0,10 & 1 & \times 0,04 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,10 & 0,11 & 0,07 & 0,10 & 0,12 \\ 0,50 & 0,55 & 1,05 & 0,70 & 0,36 \\ 0,30 & 0,11 & 0,21 & 0,30 & 0,20 \\ 0,10 & 0,08 & 0,07 & 0,10 & 0,12 \\ 0,03 & 0,06 & 0,04 & 0,03 & 0,04 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{array}{l} 0,10 + 0,11 + 0,07 + 0,10 + 0,12 = 0,50 \\ 0,50 + 0,55 + 1,05 + 0,70 + 0,36 = 3,16 \\ 0,30 + 0,11 + 0,21 + 0,30 + 0,20 = 1,12 \\ 0,10 + 0,08 + 0,07 + 0,10 + 0,12 = 0,47 \\ 0,03 + 0,06 + 0,04 + 0,03 + 0,04 = 0,20 \end{array}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,5 / 0,10; 3,16 / 0,55; 1,12 / 0,21; 0,47 / 0,10; 0,2 / 0,04)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (5; 5,74; 5,33; 4,7; 5)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (5 + 5,74 + 5,33 + 4,7 + 5) / 5 = 5,15$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |5,15 - 5| / 5 - 1 = 0,15 / 4 = 0,04$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC);

$$RC = 0,04 / 1,12 = 0,03 \leq 0,1$$

A Figura 20, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “uso da água” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

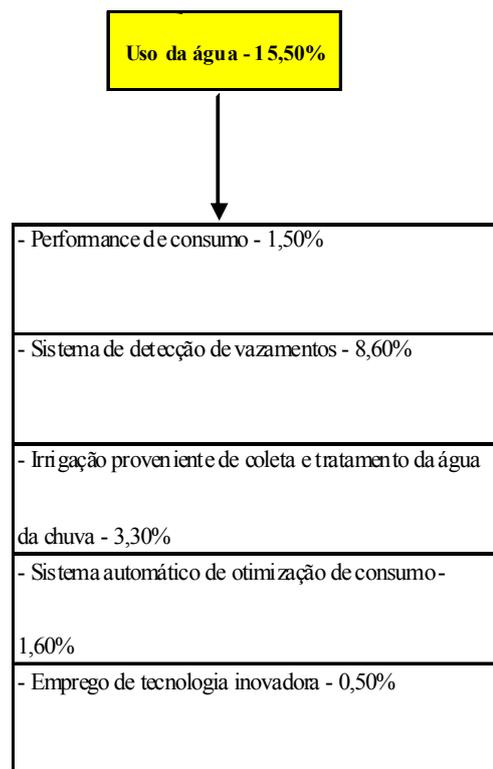


Figura 20 – Importância relativa do subcritério “uso da água” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Observa-se que indiscutivelmente a família de indicadores relativa aos sistemas de detecção de vazamentos se constitui na maior preocupação inerente ao principal subcritério, ou seja, “o uso da água”, por razões já comentadas.

Os resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o terceiro nível hierárquico, no tocante ao subcritério materiais e recursos, da estrutura hierárquica proposta, estão apresentados a seguir:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 3 & 1/3 \\ 1 & 1 & 5 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/7 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 \\ 3 & 3 & 7 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\begin{array}{r} \Sigma \end{array} \begin{array}{ccccc} 5,53 & 5,53 & 21 & 12,33 & 2,00 \\ \begin{bmatrix} 0,18 & 0,18 & 0,24 & 0,24 & 0,17 \\ 0,18 & 0,18 & 0,24 & 0,24 & 0,17 \\ 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,03 & 0,07 \\ 0,06 & 0,06 & 0,14 & 0,08 & 0,10 \\ 0,54 & 0,54 & 0,33 & 0,41 & 0,50 \end{bmatrix} \end{array}$$

c) prioridades médias locais(PML);

PML  
0,20  
0,20  
0,05  
0,09  
0,46

d) prioridades médias globais(PG);

PG  
0,002  
0,002  
0,001  
0,001  
0,007

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,20 & 1 & \times 0,20 & 5 & \times 0,05 & 3 & \times 0,09 & 0,33 & \times 0,46 \\ 1 & \times 0,20 & 1 & \times 0,20 & 5 & \times 0,05 & 3 & \times 0,09 & 0,33 & \times 0,46 \\ 0,20 & \times 0,20 & 0,20 & \times 0,20 & 1 & \times 0,05 & 0,33 & \times 0,09 & 0,14 & \times 0,46 \\ 0,33 & \times 0,20 & 0,33 & \times 0,20 & 3 & \times 0,05 & 1 & \times 0,09 & 0,20 & \times 0,46 \\ 3 & \times 0,20 & 3 & \times 0,20 & 7 & \times 0,05 & 5 & \times 0,09 & 1 & \times 0,46 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,20 & 0,20 & 0,25 & 0,27 & 0,15 \\ 0,20 & 0,20 & 0,25 & 0,27 & 0,15 \\ 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,03 & 0,06 \\ 0,07 & 0,07 & 0,15 & 0,09 & 0,09 \\ 0,60 & 0,60 & 0,35 & 0,45 & 0,46 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$0,20 + 0,20 + 0,25 + 0,27 + 0,15 = 1,07$$

$$0,20 + 0,20 + 0,25 + 0,27 + 0,15 = 1,07$$

$$0,04 + 0,04 + 0,05 + 0,03 + 0,06 = 0,22$$

$$0,07 + 0,07 + 0,15 + 0,09 + 0,09 = 0,47$$

$$0,60 + 0,60 + 0,35 + 0,45 + 0,46 = 2,46$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (1,07 / 0,20; 1,07 / 0,20; 0,22 / 0,05; 0,47 / 0,09; 2,46 / 0,46)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (5,35; 5,35; 4,4; 5,2; 5,34)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (5,35 + 5,35 + 4,4 + 5,2 + 5,34) / 5 = 5,13$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = | 5,13 - 5 | / 5 - 1 = 0,13 / 4 = 0,03$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,03 / 1,12 = 0,02 \leq 0,1$$

A Figura 21, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “materiais e recursos” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

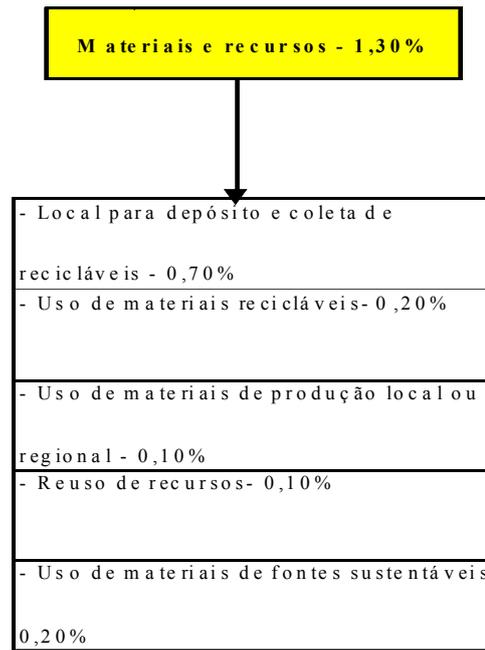


Figura 21 – Importância relativa do subcritério “materiais e recursos” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Neste subcritério a família de indicadores em destaque é a família relativa à existência de local para depósito e coleta de recicláveis, seguida da família relativa ao uso de materiais de fontes sustentáveis.

A seguir estão listados os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP para o terceiro nível hierárquico, no tocante ao subcritério sítio sustentável, da estrutura hierárquica proposta:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/5 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 10,33 \quad 19 \quad 3,53 \quad 3,53 \quad 3,53$$

$$\begin{bmatrix} 0,10 & 0,16 & 0,09 & 0,09 & 0,09 \\ 0,03 & 0,05 & 0,06 & 0,06 & 0,06 \\ 0,29 & 0,26 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \\ 0,29 & 0,26 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \\ 0,29 & 0,26 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \end{bmatrix}$$

c) prioridades medias locais (PML);

PML  
0,11  
0,05  
0,28  
0,28  
0,28

d) prioridades medias globais (PG);

PG  
0,001  
0,001  
0,005  
0,005  
0,005

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,11 & 3 \times 0,05 & 0,33 \times 0,28 & 0,33 \times 0,28 & 0,33 \times 0,28 \\ 0,33 \times 0,11 & 1 & \times 0,05 & 0,20 \times 0,28 & 0,20 \times 0,28 & 0,20 \times 0,28 \\ 3 & \times 0,11 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,28 & 1 & \times 0,28 \\ 3 & \times 0,11 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,28 & 1 & \times 0,28 \\ 3 & \times 0,11 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,28 & 1 & \times 0,28 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,11 & 0,15 & 0,11 & 0,11 & 0,11 \\ 0,04 & 0,05 & 0,05 & 0,05 & 0,05 \\ 0,33 & 0,25 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \\ 0,33 & 0,25 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \\ 0,33 & 0,25 & 0,28 & 0,28 & 0,28 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,11 + 0,15 + 0,11 + 0,11 + 0,11 &= 0,59 \\ 0,04 + 0,05 + 0,05 + 0,05 + 0,05 &= 0,30 \\ 0,33 + 0,25 + 0,28 + 0,28 + 0,28 &= 1,42 \\ 0,33 + 0,25 + 0,28 + 0,28 + 0,28 &= 1,42 \\ 0,33 + 0,25 + 0,28 + 0,28 + 0,28 &= 1,42 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,59 / 0,11; 0,24 / 0,05; 1,42 / 0,28; 1,98 / 0,28; 1,25 / 0,28)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (5,36; 4,80; 5,07; 5,07; 5,07)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (5,36 + 4,80 + 5,07 + 5,07 + 5,07) / 5 = 5,07$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |5,07 - 5| / 5 - 1 = 0,07 / 4 = 0,02$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,02 / 1,12 = 0,02 \leq 0,1$$

A Figura 22, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “sítio sustentável” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

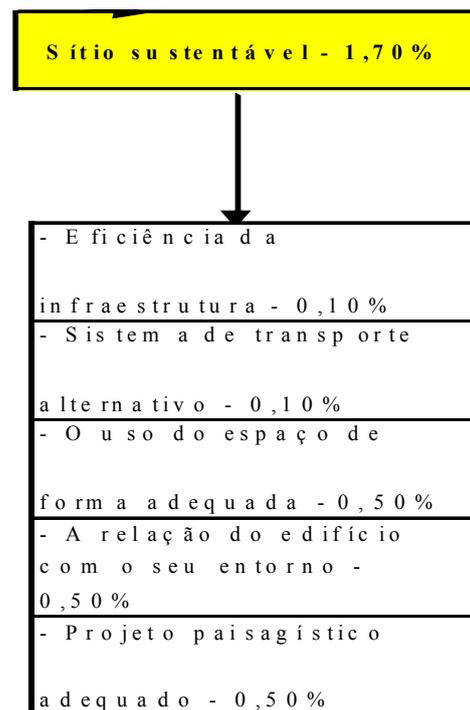


Figura 22 – Importância relativa do subcritério “sítio sustentável” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Observa-se pelos resultados que três famílias de indicadores dividem a supremacia no tocante ao critério “sítio sustentável”, são elas: o uso do espaço de forma adequada; a relação do edifício com o seu entorno, e o projeto paisagístico adequado.

Para o subcritério uso eficiente da energia são os seguintes os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 5 & 3 \\ 1/9 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 1/5 & 5 & 1 & 3 \\ 1/3 & 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 1,64 \quad 18 \quad 6,53 \quad 7,33$$

$$\begin{bmatrix} 0,61 & 0,50 & 0,77 & 0,41 \\ 0,07 & 0,06 & 0,03 & 0,05 \\ 0,12 & 0,28 & 0,15 & 0,41 \\ 0,20 & 0,17 & 0,05 & 0,14 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais – PML;

PML  
0,57  
0,05  
0,24  
0,14

d) prioridade médias globais – PG;

PG  
0,030  
0,003  
0,012  
0,007

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,57 & 9 \times 0,05 & 5 & \times 0,24 & 3 & \times 0,14 \\ 0,11 \times 0,57 & 1 & \times 0,05 & 0,20 \times 0,24 & 0,33 \times 0,14 \\ 0,20 \times 0,57 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,24 & 3 & \times 0,14 \\ 0,33 \times 0,57 & 3 \times 0,05 & 0,33 \times 0,24 & 1 & \times 0,14 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned}
 0,57 + 0,45 + 1,20 + 0,42 &= 2,64 \\
 0,06 + 0,05 + 0,05 + 0,05 &= 0,21 \\
 0,11 + 0,25 + 0,24 + 0,42 &= 1,02 \\
 0,19 + 0,15 + 0,08 + 0,14 &= 0,56
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (2,64 / 0,57; 0,21 / 0,05; 1,02 / 0,24; 0,56 / 0,14) = (4,63; 4,2; 4,25; 4)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (4,63 + 4,2 + 4,25 + 4) / 4 = 4,27$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = |4,27 - 4| / 4 - 1 = 0,27 / 3 = 0,09$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,09 / 0,90 = 0,10 \leq 0,1$$

A Figura 23, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “uso de energia” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

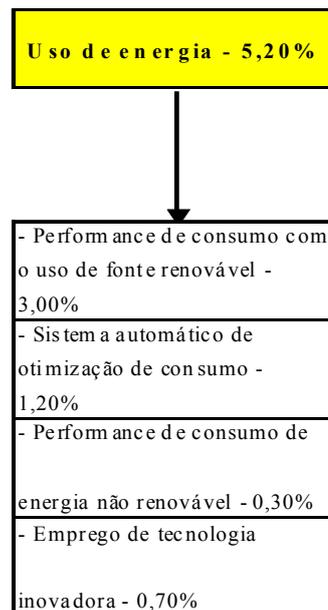


Figura 23 - Importância relativa do subcritério “uso de energia” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Nesta análise de importância das famílias de indicadores em relação ao subcritério “uso de energia” percebe-se indiscutivelmente a importância do emprego de fonte

renovável, que obteve cerca de três vezes mais importância do que cada uma das demais famílias de indicadores.

Para o subcritério eco-gestão são os seguintes os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 5,00 \quad 1,66 \quad 5,00$$

$$\begin{bmatrix} 0,20 & 0,20 & 0,20 \\ 0,60 & 0,60 & 0,60 \\ 0,20 & 0,20 & 0,20 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,20  
0,60  
0,20

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,026  
0,077  
0,026

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,20 & 0,33 \times 0,60 & 1 \times 0,20 \\ 3 \times 0,20 & 1 \times 0,60 & 3 \times 0,20 \\ 1 \times 0,20 & 0,33 \times 0,60 & 1 \times 0,20 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,20 & 0,20 & 0,20 \\ 0,60 & 0,60 & 0,60 \\ 0,20 & 0,20 & 0,20 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$0,20 + 0,20 + 0,20 = 0,60$$

$$0,60 + 0,60 + 0,60 = 1,80$$

$$0,20 + 0,20 + 0,20 = 0,60$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,60 / 0,20; 1,80 / 0,60; 0,60 / 0,20)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (3,00; 3,00; 3,00)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (3,00 + 3,00 + 3,00) / 3 = 3,00$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = | 3,00 - 3 | / 3 - 1 = 0,00 / 2 = 0,00$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,00 / 0,58 = 0,00 \leq 0,1$$

A Figura 24 a seguir apresenta a importância relativa do subcritério “eco-gestao” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

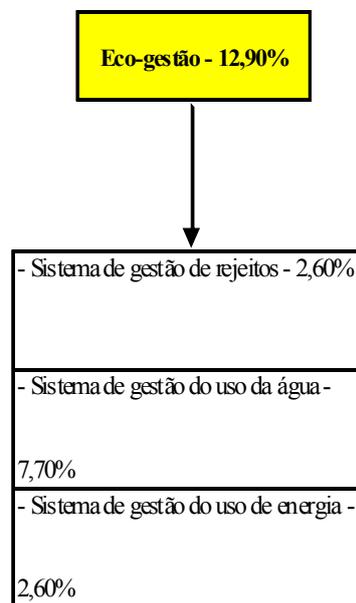


Figura 24 - Importância relativa do subcritério “eco-gestão” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Observa-se aqui mais uma vez, quando da avaliação da importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério “eco-gestão”, a polarização para o uso eficiente da água uma vez que a família de indicadores “sistema de gestão do uso da água”

obteve cerca de três vezes mais importância do que cada uma das demais famílias de indicadores.

Para o subcritério resíduos e poluição são os seguintes os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/5 & 3 \\ 5 & 1 & 1 & 7 \\ 5 & 1 & 1 & 7 \\ 1/3 & 1/7 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 11,33 \quad 2,34 \quad 2,34 \quad 18,00$$

$$\begin{bmatrix} 0,09 & 0,09 & 0,09 & 0,17 \\ 0,44 & 0,43 & 0,43 & 0,39 \\ 0,44 & 0,43 & 0,43 & 0,39 \\ 0,03 & 0,06 & 0,06 & 0,05 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,15  
0,40  
0,40  
0,05

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,009  
0,026  
0,026  
0,003

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,15 & 0,20 \times 0,40 & 0,20 \times 0,40 & 3 \times 0,05 \\ 5 & \times 0,15 & 1 & \times 0,40 & 1 & \times 0,40 & 7 \times 0,05 \\ 5 & \times 0,15 & 1 & \times 0,40 & 1 & \times 0,40 & 7 \times 0,05 \\ 0,33 \times 0,15 & 0,14 \times 0,40 & 0,14 \times 0,40 & 1 \times 0,05 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,15 & 0,08 & 0,08 & 0,15 \\ 0,75 & 0,40 & 0,40 & 0,35 \\ 0,75 & 0,40 & 0,40 & 0,35 \\ 0,05 & 0,06 & 0,06 & 0,05 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,15 + 0,08 + 0,08 + 0,15 &= 0,46 \\ 0,75 + 0,40 + 0,40 + 0,35 &= 1,90 \\ 0,75 + 0,40 + 0,40 + 0,35 &= 1,90 \\ 0,05 + 0,06 + 0,06 + 0,05 &= 0,22 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,46 / 0,15; 1,90 / 0,40; 1,90 / 0,40; 0,22 / 0,05)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (3,07; 4,75; 4,75; 4,40)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (3,07 + 4,75 + 4,75 + 4,40) / 4 = 4,24$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);.

$$IC = | 4,24 - 4 | / 4 - 1 = 0,24 / 3 = 0,08$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,08 / 0,90 = 0,09 \leq 0,1$$

A Figura 25 a seguir apresenta a importância relativa do subcritério “resíduos e poluição” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

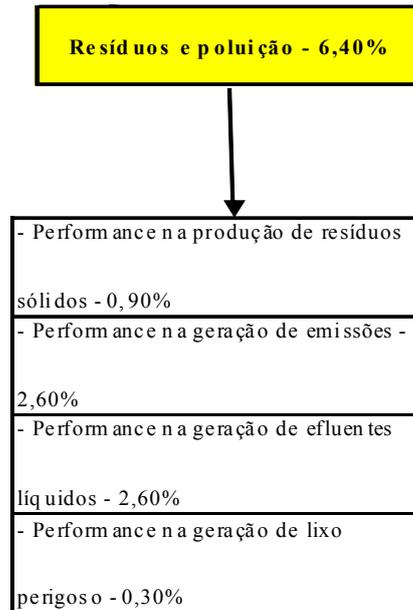


Figura 25 - Importância relativa do subcritério “resíduos e poluição” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Nesta avaliação da importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério “resíduos e poluição” foi possível observar o mesmo nível de importância para as famílias “performance na geração de efluentes líquidos” e “performance na geração de emissões” absolutamente distanciadas das famílias “performance na geração de resíduos sólidos” e “performance na geração de lixo”.

Para o subcritério investimento em operação são os seguintes os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 1 & 1 & 1/5 & 3 & 1/5 \\ 5 & 5 & 1 & 5 & 1 \\ 1 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 4 & 5 & 1 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 13 \quad 12,33 \quad 2,6 \quad 15 \quad 2,6$$

$$\begin{bmatrix} 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,07 & 0,08 \\ 0,08 & 0,08 & 0,08 & 0,20 & 0,08 \\ 0,38 & 0,41 & 0,38 & 0,33 & 0,38 \\ 0,08 & 0,03 & 0,08 & 0,07 & 0,08 \\ 0,38 & 0,41 & 0,38 & 0,33 & 0,38 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,08  
0,10  
0,38  
0,06  
0,38

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,018  
0,022  
0,081  
0,013  
0,081

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 \times 0,08 & 1 \times 0,10 & 0,20 \times 0,38 & 1 \times 0,06 & 0,20 \times 0,38 \\ 1 \times 0,08 & 1 \times 0,10 & 0,20 \times 0,38 & 1 \times 0,06 & 0,20 \times 0,38 \\ 5 \times 0,08 & 5 \times 0,10 & 1 \times 0,38 & 5 \times 0,06 & 1 \times 0,38 \\ 1 \times 0,08 & 1 \times 0,10 & 0,20 \times 0,38 & 1 \times 0,06 & 0,20 \times 0,38 \\ 5 \times 0,08 & 5 \times 0,10 & 1 \times 0,38 & 5 \times 0,06 & 1 \times 0,38 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,08 & 0,10 & 0,08 & 0,06 & 0,08 \\ 0,08 & 0,10 & 0,08 & 0,06 & 0,08 \\ 0,40 & 0,50 & 0,38 & 0,30 & 0,38 \\ 0,08 & 0,10 & 0,08 & 0,06 & 0,08 \\ 0,40 & 0,50 & 0,38 & 0,30 & 0,38 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,08 + 0,10 + 0,08 + 0,06 + 0,08 &= 0,40 \\ 0,08 + 0,10 + 0,08 + 0,06 + 0,08 &= 0,40 \\ 0,40 + 0,50 + 0,38 + 0,30 + 0,38 &= 1,96 \\ 0,08 + 0,10 + 0,08 + 0,06 + 0,08 &= 0,40 \\ 0,40 + 0,50 + 0,38 + 0,30 + 0,38 &= 1,96 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = 0,40 / 0,08; 0,40 / 0,10; 1,96 / 0,38; 0,40 / 0,06; 1,96 / 0,38)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (5,00; 4,00; 5,16; 6,67; 5,16)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (5,00 + 4,00 + 5,16 + 6,67 + 5,16) / 5 = 5,20$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = | 5,20 - 5 | / 5 - 1 = 0,20 / 4 = 0,05$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,05 / 1,12 = 0,04 \leq 0,1$$

A Figura 26, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “investimentos em operação” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

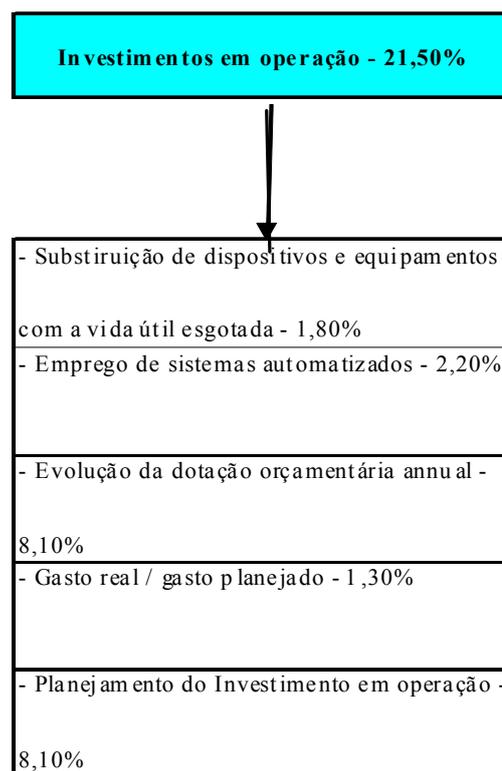


Figura 26 - Importância relativa do subcritério “investimentos em operação” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

Na avaliação da importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério “investimento em operação” foi possível observar o mesmo nível de importância

para as famílias “evolução da dotação orçamentária” e “planejamento do investimento em operação” distanciadas em cerca de quatro vezes mais importância das demais famílias de indicadores.

Tomando por base o subcritério despesas de operação e manutenção são os seguintes os diversos resultados parciais e finais preconizados no método AHP:

a) quadro de julgamentos ou matriz de decisão quadrada, recíproca e positiva;

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 & 5 & 1 \\ 3 & 1 & 3 & 7 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

b) quadro de julgamentos normalizados;

$$\Sigma \quad 6,20 \quad 2,13 \quad 6,20 \quad 21,00 \quad 6,33$$

$$\begin{bmatrix} 0,16 & 0,15 & 0,16 & 0,24 & 0,16 \\ 0,48 & 0,47 & 0,48 & 0,33 & 0,47 \\ 0,16 & 0,15 & 0,16 & 0,24 & 0,16 \\ 0,03 & 0,07 & 0,03 & 0,05 & 0,05 \\ 0,16 & 0,15 & 0,16 & 0,14 & 0,16 \end{bmatrix}$$

c) prioridades médias locais (PML);

PML  
0,16  
0,47  
0,16  
0,05  
0,16

d) prioridades médias globais (PG);

PG  
0,034  
0,102  
0,034  
0,011  
0,034

e) cálculo do maior autovalor ( $\lambda_{\text{máximo}}$ );

$$\begin{bmatrix} 1 & \times 0,16 & 0,33 \times 0,47 & 1 & \times 0,16 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,16 \\ 3 & \times 0,16 & 1 & \times 0,47 & 3 & \times 0,16 & 7 \times 0,05 & 3 & \times 0,16 \\ 1 & \times 0,16 & 0,33 \times 0,47 & 1 & \times 0,16 & 5 \times 0,05 & 1 & \times 0,16 \\ 0,20 \times 0,16 & & 0,14 \times 0,47 & & 0,20 \times 0,16 & & 1 \times 0,05 & & 0,33 \times 0,16 \\ 1 & \times 0,16 & 0,33 \times 0,47 & 1 & \times 0,16 & 3 \times 0,05 & 1 & \times 0,16 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,16 & 0,16 & 0,16 & 0,25 & 0,16 \\ 0,48 & 0,47 & 0,48 & 0,35 & 0,48 \\ 0,16 & 0,16 & 0,16 & 0,25 & 0,16 \\ 0,03 & 0,07 & 0,03 & 0,05 & 0,05 \\ 0,16 & 0,16 & 0,16 & 0,15 & 0,16 \end{bmatrix}$$

f) cálculo do vetor auxiliar ( $P_{\text{auxiliar}}$ );

$$\begin{aligned} 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,25 + 0,16 &= 0,89 \\ 0,48 + 0,47 + 0,48 + 0,35 + 0,48 &= 2,26 \\ 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,25 + 0,16 &= 0,89 \\ 0,03 + 0,07 + 0,03 + 0,05 + 0,05 &= 0,23 \\ 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,15 + 0,16 &= 0,79 \end{aligned}$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (0,89 / 0,16; 2,26 / 0,47; 0,89 / 0,16; 0,23 / 0,05; 0,79 / 0,16)$$

$$P_{\text{auxiliar}} = (5,56; 4,80; 5,56; 4,6; 4,93)$$

$$\lambda_{\text{máximo}} = (5,56 + 4,80 + 5,56 + 4,6 + 4,93) / 5 = 5,09$$

g) cálculo do Índice de Consistência (IC);

$$IC = | 5,09 - 5 | / 5 - 1 = 0,09 / 4 = 0,02$$

h) cálculo da Razão de Consistência (RC).

$$RC = 0,02 / 1,12 = 0,02 \leq 0,1$$

A Figura 27, a seguir, apresenta a importância relativa do subcritério “despesas de operação e manutenção” e das respectivas famílias de indicadores, em relação ao objetivo principal.

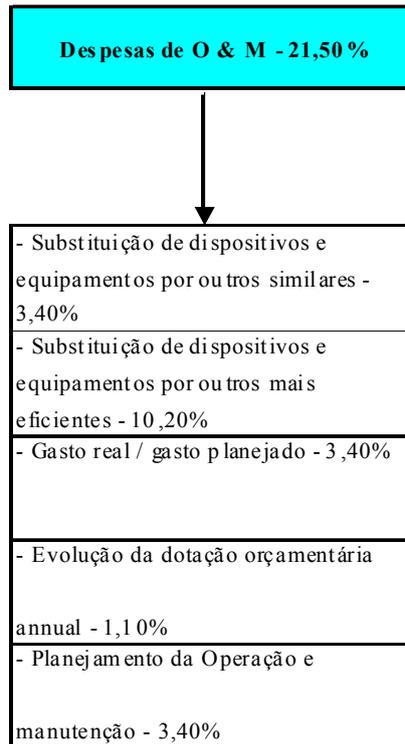


Figura 27 - Importância relativa do subcritério “despesas de operação e manutenção” e as respectivas famílias de indicadores em relação ao objetivo principal.

Observa-se nos resultados desse subcritério o predomínio da família de indicadores “substituição de dispositivos e equipamentos por outros mais eficientes” o que denota a polarização pelo atingimento dos objetivos em novas bases tecnológicas.

### 6.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

As ações no sentido de desenvolver ferramentas para a avaliação de sustentabilidade de edifícios são recentes e carecem ainda de muito trabalho e inovações no sentido de alcançar o estágio de poder oferecer para a sociedade modelos mais completos que possam atender a uma maior quantidade de tipologias de prédios.

Na opinião de Ali e Nsairat (2009) as principais ferramentas provêm um conjunto de critérios abrangentes em seus respectivos países e são mais eficientes para uma avaliação

global de edificações do que para uma avaliação individualizada de um projeto tipológico específico.

A ferramenta ora proposta pode ser considerada uma ferramenta específica para avaliação de sustentabilidade de edifícios escolares existentes que toma por base todo o empreendimento.

Muito embora as diferenças de enfoque tratadas anteriormente foram observados vários traços em comum nas respectivas estruturas de avaliação, ou seja: eficiência energética; eficiência no uso da água; qualidade do ambiente interno, gestão de materiais e resíduos e gestão ambiental.

Cabe salientar as diferenças nas importâncias relativas observadas oriundas dos diferentes contextos envolvidos, a saber(média das principais ferramentas X modelo proposto):

- a) eficiência energética: 12,72 % X 5,20 % ;
- b) eficiência no uso da água: 8,98 % X 15,50 %;
- c) qualidade do ambiente interno: 16,52 % X 14,00 %;
- d) gestão de materiais e resíduos: 16,34 % X 8,70 %;
- e) gestão ambiental: 11,40 % X 12,90 %.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Inicialmente cabe salientar a complexidade observada no processo de determinação das importâncias relativas dos critérios, subcritérios e famílias de indicadores propostos para serem utilizados em um sistema de avaliação da sustentabilidade de edifícios, na medida em que o mesmo acontece em um quadro de múltiplas variáveis atuando simultaneamente, bem como de interpretações pessoais de múltiplos atores, que são balizadas por suas respectivas experiências e preferências.

Ainda segundo as observações e constatações levadas a cabo durante a pesquisa se pôde confirmar que o processo de avaliação da sustentabilidade de edifícios efetivamente depende de diversos aspectos ambientais, econômicos e sociais que variam de região para região, em função do contexto local vigente.

A perspectiva holística utilizada neste estudo, que integra critérios de diversas ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios, devidamente customizados ao contexto da região metropolitana da Capital do Estado do Rio de Janeiro, pode produzir significantes benefícios e impactos favoráveis nas áreas social e econômica que não são produzidos pelos modelos tradicionais de avaliação, uma vez que os mesmos se concentram mais fortemente na minimização dos impactos ambientais.

A análise multicritério implementada com a AHP, visando conhecer a importância relativa dos aspectos envolvidos em uma avaliação de sustentabilidade de edifícios escolares existentes e, suportada pela opinião de experts e demais partes interessadas, se mostrou adequada na medida em que a situação problema requeria uma perspectiva holística e multidisciplinar, bem como, proporcionou a geração de uma base de informações relativamente extensa sobre o assunto.

Cabe destacar que o emprego de especialista exclusivo, comprovadamente reconhecido dentro do contexto local, por área do conhecimento, se mostrou adequado e

simplificou sobremaneira o tratamento matemático, na medida em que dispensou o emprego de ferramentas complementares ao método AHP, para a obtenção da matriz do consenso, a partir das matrizes de comparações paritárias individuais.

Com base nos resultados obtidos foi possível ainda concluir que com a utilização do método AHP se torna viável otimizar um processo decisório a partir de uma análise quantitativa e com isso abandonar o emprego de métodos empíricos.

A partir dos elementos observados durante a pesquisa foi possível concluir que o método AHP facilita sobremaneira a compreensão do processo decisório por parte dos atores envolvidos, bem como, dos significados dos resultados referentes às importâncias relativas para os critérios, subcritérios e famílias de indicadores.

Em relação ao resultado obtido para o primeiro nível hierárquico foi possível observar que não houve a esperada distribuição equilibrada, para os países em desenvolvimento, da importância relativa entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Na prática foi observada uma destacada inferioridade do critério “aspectos sociais”, o que denota não uma escolha inadequada de qualquer um dos critérios da avaliação e sim um alinhamento dos especialistas com a modelagem desenvolvida para países desenvolvidos, onde os aspectos sociais não possuem peso relevante já que as necessidades da maioria da população naqueles países já se encontram atendidas.

Cabe ressaltar que o método AHP permite identificar a presença de possíveis inconsistências nos julgamentos de valor realizados pelos especialistas e com isso garantir um resultado confiável para a modelagem desenvolvida.

Em razão de os respondentes não possuírem familiaridade com a forma de julgamento adotada no método AHP, ou seja, o julgamento paritário a partir de um intervalo de valores dos aspectos envolvidos, foi observada certa dificuldade na obtenção das respostas o que se traduz como uma das limitações da pesquisa. É importante salientar que para a maioria das

ocorrências uma simples explanação oral, por parte do pesquisador, seguida de uma simulação foi suficiente para o perfeito entendimento e posterior conclusão do preenchimento do formulário.

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos:

- a) utilizar outros métodos multicritério para confrontar os resultados obtidos com os determinados neste trabalho, com o emprego do AHP;
- b) realizar ensaio de campo para a validação da modelagem proposta;
- c) realizar comparação entre os resultados dos ensaios de campo obtidos com esta proposta e os resultados obtidos a partir de uma modelagem tradicional de mercado;
- d) desenvolver modelagem para outro tipo de edificação existente a partir da hierarquia de critérios, subcritérios e famílias de indicadores, aqui proposta.

## REFERÊNCIAS.

ALI, H. H.; NSAIRAT, S. F. Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan. **Building and Environment**, no. 44, p. 1053–1064, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 2114-01** – Standard , terminology for sustainability relative to the performance of buildings. ASTM International, 2001.

ASSOCIATION OF UNIVERSITY LEADERS FOR A SUSTAINABLE FUTURE. **What is talloires declaration?** Disponível em: < [http://www.ulsf.org/talloires\\_declaration.html](http://www.ulsf.org/talloires_declaration.html)>. Acesso em: 30 jan. 2009.

ASSOCIATION POUR LA HAUTE QUALITÉ ENVIRONNMENTALE. **Certifications NF**. Disponível em: <[http:// www.assohqe.org/documents\\_certifications\\_hqe.php](http://www.assohqe.org/documents_certifications_hqe.php)>. Acesso em: 10 jan. 2009.

BARROS, M. A.; MORENA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.12, p.1769-1777, dez. 2007.

BRITISH COUNCIL FOR SCHOOL ENVIRONMENTS. **Sustainable schools – getting it right**, 2006.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **BRE Environmental Assessment Method**. Disponível em: < <http://www.breeam.org>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

BURNETT, J. City Buildings – Eco – Labels and shades of Green! **Landscape and urban planning**, no. 83, p. 29 – 38, 2007.

CHANG, Kuei-Feng; CHIANG, Che-Ming; CHOU, Po-Cheng. Adapting aspects of GBTool 2005 – searching for suitability in Taiwan. **Building and Environment**, no 42, p. 310–316, 2007.

CHOO, E. U.; SCHONER, B.; WEDLEY, W. C. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. **Computers & Industrial engineering**, no. 37, p. 527–541, 1999.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT SISTEM FOR BUILDING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY. **An overview of casbee**. Disponível em: <<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

CORREA, P. de S. **Metodologia de Análise Hierárquica (AHP) Aplicada a Avaliação Pós – Ocupação (APO)**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão)-Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

COSTA, H. G. **Auxílio Multicritério à Decisão – Método AHP**. Rio de Janeiro: Abepro, 2006.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério de auxílio à decisão**. Niterói: H. G. Costa, 2002.

DING, G. K.C. Sustainable construction – The role environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**, no. 86, p. 451–464, 2008.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDS, C. **Multicriteria decision aid classification methods**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2002. 252 P.

FONSECA, D. P. R. da; SIQUEIRA S. J; JOSAFÁ C. de. **Meio Ambiente, Cultura e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: História y Vida: Sete Letras, 2002.

GIBBERD, J. Assessing sustainable buildings in developing countries – the sustainable building assessment tool (SBAT) and the sustainable building lifecycle (SBL). In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: WSBC, 2005, p. 1605-1612.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar/abr, 1995.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. São Paulo: Pioneira, 2004.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

GRACE, M. A practical method for assessing the sustainability of buildings for the new millennium. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2000, Maastricht, The Netherlands. **Proceedings...** Maastricht: WSBC, 2000.

HAPIO, A.; VIITANIEMI, P. A critical review of building environmental assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**, no.28, p. 469–482, 2008..

HAMMOND, J.S et al. **Decisões inteligentes**. 3ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

INSTITUTE FOR BUILDING ENVIRONMENT ENERGY CONSERVATION. **Japan Sustainable building database**. Disponível em: <<http://www.ibec.or.jp/jsbd/>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios – método IPT**. Disponível em: <<http://www.ipt.br>>. Acesso em: 02 out. 2007.

INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. **GBATool - Green Building Assessment Tool**. Disponível em: <<http://http://greenbuilding.ca>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

KUHN, M. **Introduction to decision support software**. Berlin: Adelphi Research, 2002.

LAKATOS, E. M. et al. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2004.

LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN. **Green Building Rating System – U.S. Green Building Council**. Disponível em: [http:// www.usgbc.org](http://www.usgbc.org). Acesso em: 16 jun. 2009.

LIBOVICH, A. Assessing green building for sustainable cities. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo **Proceedings...** Tokyo: WSBC, 2005, p. 1968-1971.

LILYBLADE, A. **An assessment of Green design in an existing higher education classroom. A case study**. Fort Collins: Colorado State University, 2005.

PARRA-LÓPEZ, C.; CALATRAVRA REQUENA, J.; HARO-GIMÉNEZ, T. A multi-criteria evaluation of the environmental performances of conventional, organic and integrated olive-

growing systems in the south of Spain based on experts knowledge. **Renewable Agriculture and Food Systems**, no. 22(3), p. 189-203, 2007.

PETERSON, D. L.; SILSBEC, D. G., SDMOLDT, D. L. A planning approach for developing inventory and monitoring programs in natural parks - Work document. **Natural Resources Report**, 1995. Disponível em: <<http://www.nature.nps.gov/im/monitor/peterson.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2009.

NOEL, B.; ANITO, J. Generating consensus priority point vectors: a logarithmic goal programming approach. **Computers & Operations research**, no. 26, p. 637-643, 1999.

ONG, C. N. Ergonomics, technology transfer and developing countries. **Ergonomics**, v. 34, n. 6, p. 799-814, 1991.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, no. 23 p. 28-39, 2009.

REED RESEARCH GROUP. Green building white paper research – schools building. **Design & Construction**, 2004.

ROSENTHAL, D.; MOREIRA, I. L. Algumas considerações sobre a natureza do processo de capacitação tecnológica: "Fontes de inovação". **Revista de administração pública**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 145-160, 1992.

SAATY, T.S. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill: Makron Books, 1991.

SAATY, T. S. How to make a decision: The analytic Hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.

SILVA, V. G. da; SILVA, M. G. da; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para a avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, jul./set. 2003.

SIMON, H.A. **Comportamento administrativo: Estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1965.

SOUZA, I. R. **Fatores de decisão da adoção do gás natural na geração de energia elétrica em pequena escala em postos de combustíveis: um estudo de análise de decisão usando o processo de hierarquia analítica – AHP.** 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Produção)-Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

REVISTA TÉCNICA. **Avaliação ambiental.** São Paulo: Pini, n. 133, abr. 2008. ISSN 0104-1053.

TIWARI, D. N.; LOOF, R.; PAUDYAL, G. N. Environmental-economic decision-making in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques. **Agricultural Systems**, no. 60(2), p. 99-112, 1999.

WATANABE, E. M. **O método de análise hierárquica aplicado ao desenvolvimento do produto.** 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade estadual de Campinas, 2004.

WISNER, A. **Antropotecnologia.** Rio de Janeiro: EVC, 2004.

ZAPALA, J.C.R. **Modelo híbrido para a estimativa de parâmetros de referência como suporte a avaliação social de projetos.** 1995. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Instrumento de pesquisa: subcritérios à luz dos critérios e critérios à luz do objetivo principal.

1. Uma vez o objetivo de determinar a importância relativa dos critérios na avaliação de edifícios existentes julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
Os aspectos sociais têm										do que os aspectos ambientais
Os aspectos sociais têm										do que os aspectos econômicos
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
Os aspectos ambientais têm										do que os aspectos econômicos
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

2. Uma vez o objetivo de determinar a importância relativa dos subcritérios em relação aos aspectos sociais julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
As condições de conforto têm										do que a segurança e a saúde
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

3. Uma vez o objetivo de determinar a importância relativa dos subcritérios em relação aos aspectos ambientais julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso eficiente da água tem										do que o sítio sustentável
O uso eficiente da água tem										do que o uso eficiente da energia
O uso eficiente da água tem										do que a eco-gestão
O uso eficiente da água tem										do que o uso de materiais e recursos
O uso eficiente da água tem										do que os resíduos e a poluição
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sítio sustentável tem										do que o uso eficiente da energia
O sítio sustentável tem										do que a eco-gestão
O sítio sustentável tem										do que o uso de materiais e recursos
O sítio sustentável tem										do que os resíduos e a poluição
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso eficiente de energia tem										do que a eco-gestão
O uso eficiente de energia tem										do que o uso de materiais e recursos
O uso eficiente de energia tem										do que os resíduos e a poluição
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A eco-gestão tem										do que o uso de materiais e recursos
A eco-gestão tem										do que os resíduos e a poluição
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso de materiais e recursos tem										do que os resíduos e a poluição
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

4. Uma vez o objetivo de determinar a importância relativa dos subcritérios em relação aos aspectos econômicos julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
As despesas de O & M têm										do que os investimentos em operação
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE B – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério despesa de operação e manutenção O&M.

1. Para indicar a importância relativa dos indicadores em relação ao subcritério **Despesas de O & M** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A troca de equip. por outros similares tem										do que a troca por equip. mais eficientes
A troca de equip. por outros similares tem										do que o gasto real / gasto planejado
A troca de equip. por outros similares tem										do que a evolução orçamentária anual
A troca de equip. por outros similares tem										do que o planejamento da O & M
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A troca por equip. mais eficientes tem										do que o gasto real / gasto planejado
A troca por equip. mais eficientes tem										do que a evolução orçamentária anual
A troca por equip. mais eficientes tem										do que o planejamento da O & M
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O gasto real / gasto planejado tem										do que a evolução orçamentária anual
O gasto real / gasto planejado tem										do que o planejamento da O & M
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A evolução orçamentária anual tem										do que o planejamento da O & M
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE C – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério eco-gestão.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **eco-gestão** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O Sistema de gestão de rejeitos tem										do que o sist. de gestão do uso da água
O Sistema de gestão de rejeitos tem										do que o sist. de gestão do uso de energia
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O Sistema de gestão do uso da água tem										do que o sist. de gestão do uso de energia
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE D – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério investimento em operação.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **investimento em operação** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A troca de equipam. em fim de vida útil tem										do que o uso de sistemas automatizados
A troca de equipam. em fim de vida útil tem										do que a dotação orçamentária anual
A troca de equipam. em fim de vida útil tem										do que o gasto real / gasto planejado
A troca de equipam. em fim de vida útil tem										do que o planejamento do invest. em oper.
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso de sistemas automatizados tem										do que a dotação orçamentária anual
O uso de sistemas automatizados tem										do que o gasto real / gasto planejado
O uso de sistemas automatizados tem										do que o planejamento do invest. em oper.
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A dotação orçamentária anual tem										do que o gasto real / gasto planejado
A dotação orçamentária anual tem										do que o planejamento do invest. em oper.
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O gasto real / gasto planejado tem										do que o planejamento do invest. em oper.
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE E – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério conforto.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **conforto** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O conforto higrotérmico inter./exterior tem										do que o conforto acústico - interior/exterior
O conforto higrotérmico inter./exterior tem										do que o conforto visual - interior e exterior
O conforto higrotérmico inter./exterior tem										do que o conforto olfativo - interior e exterior
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O conforto acústico do inter./exterior tem										do que o conforto visual - interior e exterior
O conforto acústico do inter./exterior tem										do que o conforto olfativo - interior e exterior
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O conforto visual do interior/exterior tem										do que o conforto olfativo - interior e exterior
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE F – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério materiais e recursos.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **Materiais e recursos** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso de mat. de fontes sustentáveis tem										do que o uso de materiais recicláveis
O uso de mat. de fontes sustentáveis tem										do que o uso de mat. de prod. local/regional
O uso de mat. de fontes sustentáveis tem										do que reuso de recursos
O uso de mat. de fontes sustentáveis tem										do que local para coleta de recicláveis
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso de materiais recicláveis tem										do que o uso de mat. de prod. local/regional
O uso de materiais recicláveis tem										do que reuso de recursos
O uso de materiais recicláveis tem										do que local para coleta de recicláveis
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso de mat. de prod. local/regional tem										do que reuso de recursos
O uso de mat. de prod. local/regional tem										do que local para coleta de recicláveis
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O reuso de recursos tem										do que local para coleta de recicláveis
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE G – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério resíduo e poluição.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **Resíduo e poluição** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A produção de resíduos sólidos tem										do que a geração de emissões
A produção de resíduos sólidos tem										do que a geração de efluentes líquidos
A produção de resíduos sólidos tem										do que a geração de lixo perigoso
A produção de resíduos sólidos tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A geração de emissões tem										do que a geração de efluentes líquidos
A geração de emissões tem										do que a geração de lixo perigoso
A geração de emissões tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A geração de efluentes líquidos tem										do que a geração de lixo perigoso
A geração de efluentes líquidos tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE H – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério saúde e segurança.

1. Para indicar a importância relativa dos indicadores em relação ao subcritério **Saúde e segurança** julgue-se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A qualidade sanitária do ambiente tem										do que a qualidade sanitária do ar
A qualidade sanitária do ambiente tem										do que a qualidade sanitária da água
A qualidade sanitária do ambiente tem										do que a segurança pessoal e do trabalho
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A qualidade sanitária do ar tem										do que a qualidade sanitária da água
A qualidade sanitária do ar tem										do que a segurança pessoal e do trabalho
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A qualidade sanitária da água tem										do que a segurança pessoal e do trabalho
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE I – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério sítio sustentável.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **Sítio sustentável** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A eficiência da infraestrutura tem										do que o sistema de transporte alternativo
A eficiência da infraestrutura tem										do que o uso do espaço de forma adequada
A eficiência da infraestrutura tem										do que a relação do edifício com o entorno
A eficiência da infraestrutura tem										do que o projeto paisagístico adequado
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sistema de transporte alternativo tem										do que o uso do espaço de forma adequada
O sistema de transporte alternativo tem										do que a relação do edifício com o entorno
O sistema de transporte alternativo tem										do que o projeto paisagístico adequado
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O uso do espaço de forma adequada tem										do que a relação do edifício com o entorno
O uso do espaço de forma adequada tem										do que o projeto paisagístico adequado
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A relação do edifício com o entorno tem										do que o projeto paisagístico adequado
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE J – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério uso eficiente da água.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **uso eficiente da água** julgue se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
A performance de consumo tem										do que o sist. de detecção de vazamentos
A performance de consumo tem										do que a irrigação com a água da chuva
A performance de consumo tem										do que o sist. de otimização de consumo
A performance de consumo tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sist. de detecção de vazamentos tem										do que a irrigação com a água da chuva
O sist. de detecção de vazamentos tem										do que o sist. de otimização de consumo
O sist. de detecção de vazamentos tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sist. de irrigação com água da chuva tem										do que o sist. de otimização de consumo
O sist. de irrigação com água da chuva tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sistema de otimização de consumo tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

APÊNDICE K – Instrumento de pesquisa: famílias de indicadores à luz do subcritério uso eficiente da energia.

1. Para indicar a importância relativa das famílias de indicadores em relação ao subcritério **uso eficiente de energia** julgue-se:

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O consumo a partir de fonte renovável tem										do que o consumo via fonte não renovável
O consumo a partir de fonte renovável tem										do que sist. de otimização de consumo
O consumo a partir de fonte renovável tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O consumo via fonte não renovável tem										do que sist. de otimização de consumo
O consumo via fonte não renovável tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

	menos importância				mesma importância	mais importância				
	extremamente	muito	pouco	levemente		levemente	pouco	muito	extremamente	
O sistema de otimização de consumo tem										do que o emprego de tecnologia inovadora
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	