

3

O Método AHP – *Analytic Hierarchy Process*

Medição de desempenho é uma tarefa desafiante. Nem sempre os dados estão disponíveis, acessíveis ou estruturados na forma ideal para consolidação. Além disso, há também os aspectos subjetivos a serem considerados, cujas medições são ainda mais complexas, exatamente por serem de caráter pessoal e de difícil externalização.

Apesar da quantidade de diversas variáveis objetivas ou subjetivas possíveis (ex. custos, percepção, quantidades, produtividade, ambiente, cultura, tempo, etc), Meyer (2003) afirma que simplificar a medição é a melhor solução. O autor defende que todas as medidas são imperfeitas e não é necessário medir mais, apenas encontrar uma forma que traduza o que realmente importa e conduza a um plano de ação eficiente.

Esse é o fundamento do método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*): decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1991). Através desse método, será proposta uma forma de avaliação de desempenho de projetistas contratadas para projetos industriais, pela relevância das projetistas no sucesso da execução do projeto. A validação do método proposto será efetuada por meio de estudo de caso, com aplicação em um projeto industrial com essa necessidade.

A seguir, será descrito o funcionamento do processo de hierarquização do AHP.

3.1. Introdução

A idéia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty é a redução do estudo de sistemas a uma seqüência de comparações aos pares. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas.

Para o autor, a teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de um grande número de elementos (controláveis ou não), a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do nosso processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados.

Para analisar os elementos dessa hierarquia, a questão definida pelo criador da teoria é: com que peso os fatores individuais do nível mais baixo da hierarquia influenciam seu fator máximo, o objetivo geral? Desde que essa influência não seja uniforme em relação aos fatores, chegamos às prioridades, que são os pesos relativos desenvolvidos para destacar as diferenças entre os critérios.

O *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um *ranking* total das alternativas”.

Saaty (1991) explica que a determinação das prioridades dos fatores mais baixos com relação ao objetivo reduz-se a uma seqüência de comparação por pares, com relações de *feedback*, ou não, entre os níveis. Essa foi a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos. Através dessas comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e

demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

3.2. Benefícios, Limitações e Aplicações do AHP

Segundo Saaty (1994), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos pobres em algumas comparações, o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas. O autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade.

Assim, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista.

Contudo, é preciso reconhecer as limitações também. Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo (Grandzol, 2005).

Convém, também, destacar as aplicações já efetuadas com o método. Provou-se a aplicabilidade do método AHP no mercado profissional e também no meio acadêmico. No campo acadêmico, as áreas de aplicações de sucesso incluem seleção de corpo docente (Grandzol, 2005), prioridades de pesquisa de agricultura internacional (Becker, 2004), medição de eficiência do gerenciamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em universidades (Feng, 2004). No campo profissional, as áreas de aplicações de sucesso incluem decisão estratégia de TI (Murakami, 2003), escolha de operador logístico (Santana, 2004),

planejamento de projeto de produto (Hummel, 2002), avaliação de riscos em projetos de ERP – *Enterprise Resource Planning* (Huang, 2004), prioridades em sistema de gestão de segurança (Chan, 2004) e proposição de um indicador geral (Francischini, 2003).

Para Becker (2004), a natureza de problemas de multicritérios soma-se aos processos de priorização, já que envolvem *trade-offs* significativos, o que requer atribuição de pesos para cada critério, como o AHP faz. A escolha do método pela autora justificou-se por considerar que muitas decisões de pesquisas são fortemente baseadas em julgamentos subjetivos.

Murakami (2003) aplicou o AHP em problemas de TI por considerá-los desestruturados e com múltiplos critérios qualitativos e quantitativos. Hummel (2002) também considerou AHP a ferramenta mais apropriada para análise de decisão de multicritério no apoio à definição de planejamento de projeto de produto, porque promoveu um ponto de referencial de competitividade através das comparações paritárias entre as alternativas dos novos produtos. Além disso, a redundância nas comparações paritárias do AHP permitiu checar a inconsistência dos julgamentos.

No caso apresentado por Feng (2004) usou-se o AHP antes do DEA (*Data Envelopment Analysis*) para obter os pesos relativos dos indicadores a serem utilizados no DEA. Francischini (2003) também adotou o mesmo processo para consolidar um indicador geral. Adotou o AHP para permitir a atribuição de graus de prioridade através da determinação de pesos, viabilizando assim a unificação e conseqüente redução do número de fatores a serem flexibilizados pelo DEA.

Santana (2004) propôs um modelo de desenvolvimento de Sistema de Medição de Desempenho Logístico para o qual a seleção dos indicadores de desempenho foi realizada com o AHP. O autor justificou a escolha por se tratar do método matemático mais simples de todos os métodos de apoio multicritério à decisão e por ser o mais difundido e aplicado para apoio à decisão atualmente nas empresas.

3.3. A Hierarquia

O método AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores, porque, quando solucionados individualmente e depois somados, estes representam a decisão do problema inicial buscada. Sob essa lógica hierárquica, convém introduzir a definição, as características e a importância da hierarquia na metodologia.

Saaty (1991) afirma que hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. Essa abstração pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em subobjetivos, desmembrando-se nas forças influentes e até nas pessoas que influenciam essas forças.

Duas questões surgem na estrutura hierárquica dos sistemas (Saaty, 1991):

- (1) Como estruturar hierarquicamente as funções de um sistema?
- (2) Como medir impactos de cada elemento na hierarquia?

A parte mais criativa de tomadas de decisão que tem efeito significativo no resultado é a modelagem do problema. No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, posteriormente, sofre um processo de priorização. Saaty (1991) explica que priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade. Assim, afirma que o princípio básico a se seguir na criação dessa estrutura é sempre tentar responder a seguinte questão: posso comparar os elementos de um nível abaixo usando alguns ou todos os elementos no próximo nível superior como critérios ou atributos dos elementos do nível inferior?

Para elaborar a forma de uma hierarquia, Saaty (1994) fornece sugestões úteis: (1) identificar o problema geral. Qual a questão principal?; (2) identificar os

sub-objetivos do objetivo geral. Caso relevante, identificar o horizonte de tempo que afetam a decisão; (3) identificar os critérios que devem ser satisfeitos para satisfazer os subobjetivos do objetivo geral; (4) identificar os subcritérios abaixo de cada critério. Vale ressaltar que critérios e subcritérios podem ser especificados em termos de faixas de valores de parâmetros ou em termos de intensidades como alta, média, baixa; (5) identificar os atores envolvidos; (6) identificar os objetivos dos atores; (7) identificar as políticas dos atores; (8) identificar opções e resultados; (9) para decisões sim-não, tomar o resultado mais preferível e comparar os benefícios e custos de tomar decisão com os de não se tomar a decisão; (10) realizar uma análise de custo-benefício usando valores marginais. Como lidamos com hierarquia de dominância, deve-se perguntar qual alternativa gera o melhor benefício, que alternativa é mais custosa e, para riscos, qual alternativa é mais arriscada.

Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia também permite a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde os atores de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. Finalmente, os modelos hierárquicos são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; já flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

Por outro lado, uma hierarquia não-linear apresentaria arranjos circulares, de modo que um nível superior poderia ser dominado por um nível inferior e estar também numa posição dominante.

Entretanto, apesar de apresentar vantagens, a hierarquia por si própria não é uma ferramenta poderosa no processo de tomada de decisões ou de planejamento. É preciso computar a força com que elementos de um nível atuam sobre os elementos do nível mais alto seguinte, assim como considerar forças relativas entre os níveis e os objetivos gerais.

Para sua efetivação, utiliza-se a escala de prioridades relativas do método AHP, descrito a seguir.

3.4. O Processo de Hierarquização do AHP

Conforme já apresentado, a metodologia do AHP constitui-se de decomposição por hierarquias e síntese pela identificação de relações através de escolha consciente.

A prática da tomada de decisões está ligada à avaliação das alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos. O problema está em escolher a alternativa que melhor satisfaz o conjunto total de objetivos. Estamos interessados em obter pesos numéricos para alternativas com relação a subobjetivos e, para subobjetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada (Saaty, 1991). O meio de estruturar logicamente os objetivos e subobjetivos do problema de decisão é pela hierarquia, como descrito anteriormente.

Grandzol (2005) descreve que, através de comparações aos pares em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios.

Para se fazer bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que possuem o mesmo pai. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado numa matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo (Saaty, 1994).

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada na Tabela 1, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com

estágios intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Tabela 1 – Comparações do AHP. Fonte: Saaty (1991)

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1-9, da Tabela 1. É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento-linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre duas atividades ou critérios, os

recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas.

A seguir é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP. O detalhamento deste exemplo encontra-se no Apêndice 3.

Matriz A

Iluminação	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	1	5	6	7
<i>B</i>	1/5	1	4	6
<i>C</i>	1/6	1/4	1	4
<i>D</i>	1/7	1/6	1/4	1

As posições da diagonal serão sempre 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela 1, que apresenta a escala de comparações empregadas no método. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma.

No caso da Matriz A, observa-se pela parte superior direita que todos os elementos-linha eram mais dominantes do que os elementos-coluna, pois todas as posições estão com números maiores que 1. Lê-se: A é 5 vezes mais dominante do que B e 6 vezes mais dominante do que C.

A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A é 5 vezes mais dominante do que B, e A é 6 vezes mais dominante que C, então $A=5B$ e $A=6C$. Logo, $B/C = 6/5 =$ posição (B, C). Portanto, se o julgamento da posição (B, C) for diferente de 6/5, então a matriz é inconsistente, como ocorre na Matriz A.

Chan (2004, p. 440-441) resume os passos recomendados para aplicação do AHP:

(1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as suposições refletidas na definição do problema, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

(2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando do topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos, critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas (medição da adequação da solução para o critério). Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.

(3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior. Em outras hierarquias, elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, requerendo a construção de matrizes únicas.

(4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso, são necessários $n(n - 1) / 2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação, mostrados na Tabela 1.

(5) Calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos.

$$\text{I.C.} = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

De acordo com Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca (matriz criada no Passo 4), seu autovalor máximo deveria ser

igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisamos de $n - 1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente.

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo, λ_{\max} , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos A (Passo 4) pelo vetor coluna de prioridades computado w , seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw , pelo primeiro vetor w , chegando-se ao valor de λ_{\max} .

Cabe lembrar que $Aw = \lambda w$ e, que no método da análise hierárquica, $Aw = \lambda_{\max} w$. Para o cálculo de λ_{\max} , utiliza-se a fórmula abaixo:

$$\lambda_{\max} = \text{média do vetor } \frac{Aw}{w} \quad (2)$$

Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0.1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0.1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos (por exemplo, reescrevendo questões do questionário ou recategorizando elementos) até que a consistência aumente.

Saaty (1991) sugere também o uso da Razão de Consistência, que considera o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra.

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico (IR) para } n}$$

Saaty (1991) propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório, conforme exibido na

Figura 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Figura 5 - Índice Randômico Médio do AHP. Fonte: Saaty (1991)

(6) Analisar as matrizes para estabelecer as prioridades locais e globais, comparar as alternativas e selecionar a melhor opção.

Saaty (1994) mostra que há dois meios de sintetizar as prioridades locais das alternativas, usando prioridades globais dos critérios pai: o modo distributivo e o modo ideal. No distributivo, os pesos das alternativas somam 1. É adotado quando há dependência entre as alternativas e uma prioridade unitária é distribuída entre elas, ou seja, quando o objetivo é escolher uma alternativa que é melhor em relação a outras.

Grandzol (2005) exemplifica que o modo distributivo é apropriado para alocação proporcional de um benefício. Traduzindo numericamente o exemplo do autor, três alternativas com relação de dependência A, B e C teriam prioridades como $A=0.2$, $B=0.5$ e $C=0.3$, que totalizam 1.0.

Já o modo ideal, é utilizado para obter a melhor alternativa entre alternativas distintas e sem relação de dependência. Nesse modo, as prioridades locais das alternativas são divididas pelo maior valor entre elas. Isso é feito para cada critério, e a alternativa torna-se ideal de valor 1. Se as alternativas são suficientemente distintas, sem dependência nas definições, o modo ideal seria o meio de síntese. No exemplo citado de A, B e C, B seria a alternativa ideal com prioridade 1.0 ($= 0.5 \div 0.5$), C teria prioridade 0.6 ($= 0.3 \div 0.5$) e A teria prioridade 0.4 ($= 0.2 \div 0.5$).

No Apêndice 3 há um exemplo de aplicação do método de forma ilustrativa e didática.

3.5. AHP e o Gerenciamento de Projetos

Segundo Grandzol (2005), a metodologia do AHP agrega valor no planejamento de um projeto, ao tratar de prioridades, de parâmetros ótimos e de seleção de alternativas. O AHP é baseado na habilidade humana inata de fazer julgamentos sobre problemas diversos e foi aplicado em projetos de decisão e planejamento em cerca de vinte países.

O grupo de alternativas a serem escolhidas compõe a motivação da tomada de decisão que, Saaty (1994), é um processo que envolve os seguintes passos:

- Estruturar um problema com um modelo que mostre os elementos-chave do problema e suas relações;
- Expor julgamentos que refletem conhecimento, sentimentos e emoções;
- Representar os julgamentos com números significativos;
- Usar esses números para calcular as prioridades dos elementos da hierarquia;
- Sintetizar esses resultados para determinar um resultado geral;
- Analisar a sensibilidade a mudanças de julgamento.

Com a teoria explicada nesta seção, observa-se que o método AHP atende a esses critérios de processo de tomada de decisão. O AHP quebra um problema em subproblemas e depois agrega as soluções dos subproblemas em uma solução geral. Facilita a tomada de decisão ao organizar percepções, sentimentos, julgamentos e memórias em uma estrutura que exhibe as forças influentes na decisão e que gera um resultado numérico e conclusivo.

Por isso, a teoria do AHP pode ser usufruída pela teoria de Gerenciamento de Projetos: o AHP ajuda a estruturar o Planejamento e na tomada de decisões e, ao mesmo tempo, o Gerenciamento de Projetos depende de Planejamento para tomada de decisões. No estudo em questão, o AHP apóia o Gerenciamento de Projeto na escolha de contratadas, além de auxiliar o entendimento e melhoramento dos processos das mesmas.

O projeto avaliado na presente pesquisa tem diversas variáveis que dificultam a medição do desempenho. De fato, o AHP é útil no estudo em questão porque busca simplificar a medição, corroborando a sugestão de Meyer (2003). O método tem a capacidade de simplificar e organizar de forma racional os critérios necessários para a avaliação da qualidade de projetistas do estudo de caso para facilitar as análises de gerenciamento de projetos.

Ao considerar aspectos objetivos e subjetivos, numéricos e qualitativos, o método consegue compor um índice único formado pela combinação dos critérios principais do problema objetivo e das áreas de conhecimento de gerenciamento sugeridas pelo PMI.