

2 Metodologia

2.1. Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão

A partir da década de 70 a eficiência dos modelos ortodoxos de Pesquisa Operacional em análises de problemas gerenciais complexos começou a ser questionada. A idéia dominante na década anterior de que todos ou quase todos os problemas de decisão poderiam ser resolvidos por essas técnicas começa a se mostrar incompleta. Um novo paradigma dos anos 80 e 90 sugere que não mais se deve analisar problemas procurando uma solução ótima, e sim gerar projetos e soluções de compromisso que permitam ultrapassar a confusão que cerca as situações problemáticas empresariais (Ackoff, 1979). A partir de então, argumenta-se que devemos passar do paradigma da otimização para as chamadas soluções de aprendizado e construtivismo.

Entre as abordagens que surgiram como resposta a essas questões, podemos destacar a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), que consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, sob a influência da multiplicidade de critérios.

A distinção entre a metodologia multicritério e as metodologias tradicionais de avaliação é o grau de incorporação dos valores subjetivos dos decisores nos modelos de avaliação, permitindo que uma mesma alternativa seja analisada de forma diversa de acordo com os critérios de valor individuais de cada especialista. Na perspectiva de apoio à decisão, a consideração da subjetividade, além da objetividade, dos elementos na construção de modelos de avaliação, constitui uma das principais vantagens dos atuais modelos multicritérios sobre os modelos clássicos de pesquisa operacional.

A Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão procura auxiliar a modelar o contexto decisional, a partir da consideração das convicções e valores dos indivíduos envolvidos, de tal forma a permitir a construção de um modelo no qual

baseia-se as decisões em favor do que se acredita ser o mais adequado. O processo de apoio à decisão se caracteriza pela flexibilidade de permitir forte iteração do modelo a ser construído com os tomadores de decisão e suas percepções da problemática em estudo. A participação dos tomadores de decisão no processo de construção do modelo é de fundamental importância para o aprofundamento das discussões, gerando melhor compreensão do contexto decisório.

O processo de apoio à decisão está pautado em algumas convicções básicas para desenvolver um modelo de decisão que deve evoluir durante todo o processo (Bana e Costa, 1993), a saber:

- No processo decisório, devem ser considerados os aspectos de natureza objetiva, assim como os aspectos tidos como subjetivos. Estes dois grupos de aspectos são considerados inseparáveis e interconexos na representação do contexto de decisão. Os aspectos de natureza subjetiva estão associados aos julgamentos formulados pelos indivíduos participantes do processo decisório e os aspectos objetivos são decorrentes das características das opções.
- A adoção do construtivismo na busca da identificação de hipóteses de trabalho para se fazer recomendações, levando assim à construção do problema. O objetivo desta convicção é a construção de um “conjunto de meios” que tornem possível aos atores envolvidos no processo decisório progredirem de acordo com seus objetivos e sistema de valores.
- O paradigma da aprendizagem pela participação. Através da interatividade dos atores envolvidos, é estabelecido um processo de discussão crítica. O produto desta interação é a construção de uma estrutura partilhada pelos intervenientes no processo.

Cabe neste momento ressaltar o termo *Apoio à Tomada de decisão*, pois segundo Zeleny (1982), escolher é tarefa que o decisor tem de exercer por si próprio, ninguém pode decidir por ele. Logo o decisor pode recorrer ao apoio de um facilitador que utilizando-se de um conjunto de instrumentos, entre eles os métodos multicritérios, procura apoiar o decisor ao longo do desenrolar da decisão. Porém a responsabilidade final pela decisão é do decisor.

2.2. Principais Métodos Multicritério

Para a realização do processo de avaliação de um problema, numa abordagem multicritério, pode-se usar várias metodologias. Gomes (2007) examina os métodos multicritério e oferece uma importante contribuição apresentando, numa linguagem acessível, as características principais dos métodos de utilização mais comum. Para a visão panorâmica do número relativamente grande de métodos multicritério hoje disponíveis aos praticantes da Teoria da Decisão, consultar, por exemplo, Schärliig (1990), Vincke (1992), Bana e Costa (1990), Clímaco (1997) e Triantapyllylou (2000).

Métodos ELECTRE

Os métodos ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) – ELECTRE I, IS, II, III, IV e TRI – são refinamentos e adaptações a diferentes contextos de aplicação do primeiro método multicritério proposto, em Paris, por Bernard Roy (1968). Os métodos ELECTRE constituem-se no cerne da chamada escola europeia (ou francesa) do apoio multicritério à decisão (Lootsma, 1990b; Roy e Vanderpooten, 1996). Por sua rica estrutura lógica e, sem dúvida, por seu pioneirismo no tratamento de problemas de decisão na presença de múltiplos critérios, considera-se seu principal autor Bernard Roy, um dos grandes nomes da Teoria da Decisão. O livro de Roy e Bouyssou (1993) é uma excelente referência sobre os métodos ELECTRE.

De acordo com Gomes (2007), o que se faz com os métodos ELECTRE é, tendo como base expressões algébricas da modelagem de preferências, resolver problemas de: a) seleção – ELECTRE I (Roy, 1968) e ELECTRE IS (Roy e Skalka, 1984); b) ordenação – ELECTRE II (Roy e Bertier, 1973), ELECTRE III (Roy, 1978), ELECTRE IV (Roy e Hugonnard, 1982); ou c) classificação – ELECTRE TRI (Wei, 1992). O conceito-chave dos métodos ELECTRE é o de relação de superação, em termos bem simples, afirma-se que uma alternativa supera outra quando a primeira é pelo menos tão boa quanto a segunda. O livro Guigou (1974) foi pioneiro na apresentação dos conceitos subjacentes aos métodos ELECTRE I e ELECTRE II, aplicados à avaliação e à previsão na presença de múltiplos critérios.

Métodos PROMÉTHÉÉ

PROMÉTHÉÉ (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) designa outra das famílias de métodos multicritério da escola europeia do apoio multicritério à decisão, que também faz uso da noção de relação de superação, por meio do conceito de “fluxo líquido de superação”. Seu principal criador é Jean-Pierre Brans. Uma das referências pioneiras sobre métodos PROMÉTHÉÉ é o artigo de Brans, Mareschal e Vincke (1984). Também encontra-se uma ótima exposição dos métodos PROMÉTHÉÉ no livro de Brans e Mareschal (2002).

Segundo Gomes (2007), propuseram-se as quatro primeiras variantes dessa família de métodos – PROMÉTHÉÉ I, II, III e IV – para solucionar problemas de ordenação. Essas variantes são aplicadas a um sistema de relações de preferência nebulosas e utilizam comparações binárias (ou seja, aos pares) entre as alternativas, comparando os seus desempenhos relativamente a cada um dos critérios.

Teoria da Utilidade Multiatributo

A Teoria da Utilidade Multiatributo, também conhecida por MAUT (Multiattribute Utility Theory), consiste em uma extensão natural da Teoria da Utilidade (Fishburn, 1970), para o contexto no qual cada alternativa seja descrita por uma lista de atributos. Como leitura sobre a MAUT, Gomes (2007) sugere o livro de Keeney e Raiffa (1976); o Capítulo 6 de Gomes, Gomes e Almeida (2002); e o Capítulo 3, p. 19-41, de Gomes, Araya e Carignano (2004).

Utilidade é uma medida da satisfação decorrente do consumo de um bem ou de um serviço, e é expressa por meio de uma função matemática, denominada função de utilidade. Keeney e Raiffa (1976) introduziram o conceito de se medir a utilidade de cada um das alternativas candidatas à resolução de um problema decisório, na presença de múltiplos atributos, pela construção de uma função matemática. Essa função, denominada “função de utilidade (ou de valor) multiatributo”, pode ter diferentes formas matemáticas, sendo a forma aditiva a mais empregada. De acordo com Gomes (2007), a utilização da MAUT permite obter a melhor solução para um problema decisório complexo, identificar o conjunto das melhores soluções para tal problema ou, simplesmente ordená-las da melhor para a pior delas.

Método de análise hierárquica (AHP)

Um dos primeiros métodos desenvolvidos para solucionar problemas de tomada de decisão na presença de múltiplos critérios, quantitativos e qualitativos, foi o método de análise hierárquica, mais conhecido como método AHP, ou simplesmente, AHP (abreviação do inglês Analytic Hierarchy Process). O AHP foi criado na década de 1970 por Thomas L. Saaty. São várias as fontes de informações sobre o método AHP, com destaque para Saaty (1991); Gomes, Araya e Carignano (2004); Goodwin e Wright (2000) e Bana e Costa e Vansnick (2001).

A aplicação do AHP a um problema inicia-se com a organização de uma hierarquia de objetivos ou de critérios representativa dos diferentes pontos de vista envolvidos na sua resolução. A essência dos cálculos subjacentes ao AHP é um teorema de álgebra linear, conhecido como teorema de Perron-Frobenius (Perron, 1907). Esse teorema permite que toda a hierarquia de objetivos ou critérios seja sintetizada mediante o cômputo de uma lista de pesos globais, cada um deles correspondendo a uma das alternativas candidatas (Gomes, 2007). De modo a disseminar ao máximo o uso do AHP, foi desenvolvido o software o Expert Choice.

O método da Teoria da Utilidade Multiatributo e o método de análise hierárquica são representativos da chamada escola norte-americana do apoio multicritério à decisão, seguindo enfoques prescritivo e descritivo. Assim, os métodos estritamente pertencentes à escola francesa, como é o caso dos métodos ELECTRE e PROMÉTHÉE, agregam, a partir do conceito de relação de superação, todas as informações provenientes dos diferentes agentes de decisão sem, no entanto, efetuar uma única operação de síntese. Os métodos da escola norte-americana, por sua vez, trabalham com a idéia de agregar todas aquelas informações por meio de uma grande síntese (Gomes, 2007).

Método MACBETH

O método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) foi desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e Jean-Claude Vansnick, na década de 90 (Bana e Costa, 2001; Bana e Costa e Vansnick, 1999 e 2000). O foco principal do MACBETH é a interação entre os agentes e o analista de decisão. Bana e Costa e Vansnick (1999) apresenta o método

MACBETH de forma bastante clara, constituindo-se leitura obrigatória para quem deseja entendê-lo.

Gomes (2007), sobre o método MACBETH, afirma que este orienta-se principalmente para a abordagem de problemas de seleção e de ordenação, contendo elementos tanto da escola norte-americana como da escola europeia do apoio multicritério à decisão, embora com provável predominância da primeira sobre a segunda. É indiscutivelmente, um método multicritério elegante e de aplicabilidade relativamente fácil, e a flexibilidade de sua escala é um de seus pontos fortes.

Cabe destacar que o presente trabalho de investigação teórico-aplicada foi desenvolvido seguindo a abordagem multicritério MACBETH e utilizando o sistema de apoio à decisão M-MACBETH (software aplicativo que executa a abordagem). A abordagem MACBETH será apresentada em detalhes na seção 2.3.

Método TODIM

O método multicritério TODIM (acrônimo de Tomada de Decisão Interativa e Multicritério), é provavelmente o único método multicritério fundamentado na Teoria dos Prospectos (Kahneman e Tversky, 1979). A Teoria dos Prospectos, que foi objeto de Prêmio Nobel de Economia, concedido em 2002 (Roux, 2002), descreve como se tomam decisões em meio ao risco. Como toda e qualquer decisão implica incorrer em algum tipo de risco, calcada em observações empíricas, reza que a racionalidade do tomador de decisão, confrontado com o risco, passa por uma ponderação relativa de ganhos e perdas, sempre definidos com relação a um ponto de referência. O método TODIM, de modo a poder aplicar esse paradigma a uma base de dados proveniente de cálculos e de juízos de valor, deve testar formas específicas das funções de perdas e ganhos (Gomes, 2007).

O TODIM tem parte de suas raízes na tese de doutorado de Gomes (1976). No Capítulo 5 de Gomes, Araya e Carignano (2004), explica-se com detalhes o método TODIM. Encontram-se algumas das várias aplicações já realizadas desse método em: Gomes e Lima (1992a; 1992b); Gomes e Duarte (1998); Gomes, Duarte e Moraes (1999); Trotta, Nobre e Gomes (1999); Costa, Almeida e Gomes (2003); e Passos e Gomes (2005). Roy e Bouyssou (1993), sobre o método TODIM, afirmam que este é: “[...] um método tendo como base a Escola Francesa

e a Escola Americana. Combina aspectos provenientes da Teoria da Utilidade Multiatributo, do método AHP e dos métodos ELECTRE” (p.638)

Escola holandesa do apoio multicritério à decisão

Existe um conjunto relativamente grande de métodos multicritérios desenvolvidos na Holanda desde os anos 1970 cujas aplicações, em sua ampla maioria, têm sido realizadas em campos como economia regional, urbana ou gestão ambiental. Portanto, por sua importância no desenvolvimento histórico e aplicativo do apoio multicritério à decisão, Gomes (2007) cita obras de Lootsma (1993; 1994^a; 1994b), além de Ancot (1988), Delft e Nijkamp (1977), Janssen (1994), Nijkamp (1977; 1979; 1980), Rietveld (1980), e Voogd (1989), como alguns dos mais importantes nomes da escola holandesa. Seus métodos enfocaram basicamente problemas multicritério de seleção, ordenação e classificação, similarmemente aos métodos da chamada escola européia.

A escolha do método multicritério

De acordo com Gomes (2007), pauta-se normalmente a escolha de um método particular em contraposição a outros métodos, considerando-se o sólido conhecimento de um número razoavelmente grande de métodos que esse profissional detém. Esse conhecimento incluía adequação de se aplicar cada método ao problema, aqui considerados os seguintes aspectos principais: a) a natureza do problema a ser resolvido (isto é, seleção, ordenação, classificação e descrição); b) as possíveis formas de levantamento e de compilação de dados; c) a estrutura de relacionamentos entre objetivos do problema; e d) o tipo de comunicação que se espera entre o analista e o tomador de decisão, mormente durante as etapas da análise de decisão.

2.3.

A Abordagem MACBETH

MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) é uma abordagem de apoio à decisão multicritério desenvolvida por Carlos A. Bana e Costa e J. C. Vansnick, na década de 90. A distinção fundamental entre MACBETH e outros métodos de Análise de Decisão com

múltiplos critérios é que MACBETH requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade em múltiplos critérios para ajudar um decisor, ou uma tomada de decisão em grupo, quantificar a atratividade relativa das opções. Sete categorias semânticas de diferença de atratividade são introduzidas em MACBETH: diferença de atratividade nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema. Daí a origem do nome da abordagem MACBETH: “**M**asuring **A**ttractiveness by a **C**ategory **B**ased **E**valuation **T**echnique” (Medir a Atratividade por uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias). Esse tipo de procedimento de julgamento motiva discussão e aprendizagem no âmbito do grupo de trabalho, contribuindo para o desenvolvimento de um sistema de valores em grupo.

MACBETH é uma abordagem interativa concebida para construir um modelo de valores quantitativos, desenvolvido de uma forma que evita que os facilitadores obriguem os decisores a produzirem representações numéricas diretas de suas preferências. MACBETH emprega um processo de questionamento interativo não-numérico que compara dois elementos de cada vez, solicitando apenas uma avaliação qualitativa sobre a sua diferença de atratividade. As respostas são inseridas no sistema M-MACBETH de apoio à decisão, e ele verifica automaticamente a sua consistência. Além do fato deste não permitir inconsistência nos julgamentos do decisor, estabelece um processo interativo de revisão dos julgamentos e sugere, se necessário, quais devem ser revistos. Posteriormente gera uma escala numérica que é representativa dos julgamentos do decisor. Através de um processo semelhante permite a geração de escalas de ponderação dos critérios. Além disso, fornece ferramentas para facilitar os vários tipos de análises de sensibilidade. (Bana e Costa et. al., 2003)

O breve levantamento histórico da investigação MACBETH oferecido na seção 2.3.7 mostra que, em um nível técnico, MACBETH tem evoluído através do curso da pesquisa teórica conduzida sobre ele, e também através de numerosas aplicações práticas. As suas características essenciais, no entanto, tem sempre se mantido consistente com as idéias que levaram à sua criação como uma abordagem humanista, interativa e construtiva para o problema de como construir um modelo de valor quantitativo baseado em julgamentos qualitativos de diferença (verbais).

MACBETH é humanístico, no sentido de que deve ser usado para ajudar tomadores de decisão a refletirem, comunicarem e discutirem seus sistemas de valores e preferências. Interativo, pois se baseia na convicção de que o processo de reflexão e aprendizagem pode ser mais bem desenvolvido através de facilitação sócio-técnico, sustentada por procedimentos de questionamento simples. De um ponto de vista prático, isto sugere que essa interação poderia se beneficiar muito de um sistema de apoio à decisão extremamente eficiente e fácil de utilizar, como é realmente o caso do software M-MACBETH. Construtivo, porque MACBETH repousa sobre a idéia de que todo o corpo de convicções sobre o tipo de decisão a tomar não (pré-)existe na mente do decisor, nem na mente de cada um dos membros de uma conferência de decisão em grupo, mas que nós podemos proporcionar-lhes ajuda para formar convicções e construir preferências robustas sobre as diferentes opções possíveis para resolver o problema.

É importante salientar que este tipo de construção não tem de ser, e não deve ser, anárquica por natureza. Neste contexto, a atividade de apoio multicritério à decisão não procura modelar uma realidade exterior e preexistente. Ela insere-se no processo de decisão e visa a construção de uma estrutura partilhada pelos intervenientes nesse processo - fase de estruturação - partindo depois para a elaboração de um modelo de avaliação - fase de avaliação - seguindo uma abordagem interativa, construtiva e de aprendizagem, sem assumir um posicionamento otimizador e normativo. Por fim, a análise de sensibilidade e robustez dos resultados do modelo são componentes essenciais da elaboração de recomendações.

O método MACBETH permite agregar os diversos critérios de avaliação em um critério único de síntese por meio da atribuição de pesos aos vários critérios, respeitando as opiniões dos decisores. A abordagem baseia-se no modelo de agregação de valor aditivo como alcance de referência que garante a coerência da ajuda prestada no âmbito de um processo de construção ("global") de preferências multicritério. A fim de assegurar a coerência do processo de construção, é aconselhável que o mesmo seja feito no âmbito de um modelo de agregação ("parcial") de preferências bem definido estabelecido ao nível de cada um dos múltiplos critérios.

Metodologicamente, o processo de construção do modelo pode ser descrito em três fases fundamentais definidas por Bana e Costa (1992), estruturação,

avaliação e elaboração de recomendações, e integra técnicas de sólida base científica. Nomeadamente a abordagem MACBETH, pode ser apresentada como a seqüência das seguintes etapas:

- 1) Caracterização do contexto de decisão;
- 2) Definição dos critérios, através da identificação e estruturação de todos os aspectos, considerados relevantes para o problema de decisão;
- 3) Construção de um descritor de impactos em cada critério, com base em indicadores, e características que permitam operacionalizar esses critérios;
- 7) Avaliação parcial em cada critério, pela construção de escalas de valor cardinal, aplicando o método MACBETH;
- 5) Determinação dos coeficientes de ponderação, que operacionalizam a noção de “importância relativa” dos critérios, aplicando o método MACBETH;
- 6) Apreciação dos impactos nos vários critérios;
- 7) Cálculo do valor global, pelo modelo aditivo de agregação;
- 8) Análises de sensibilidade e robustez dos resultados, de forma a permitir uma adequada elaboração de recomendações.

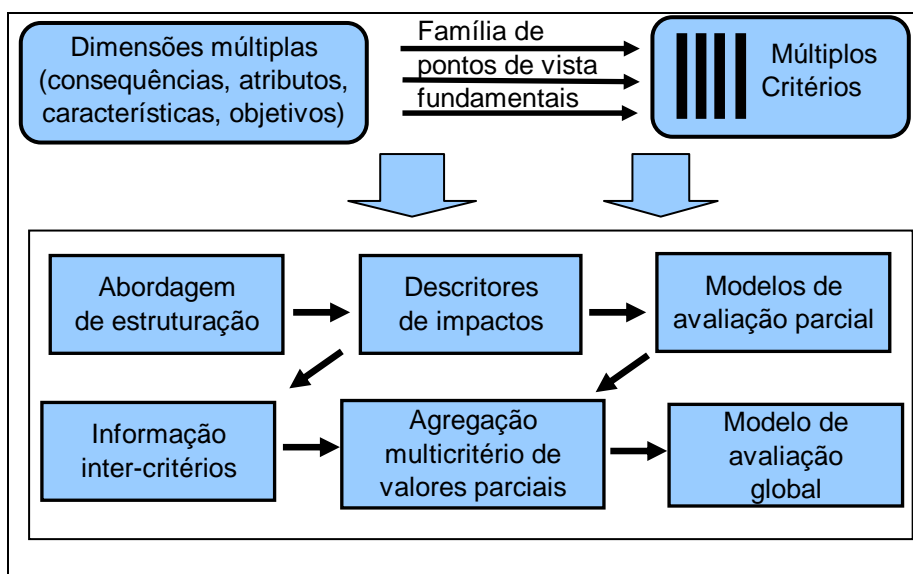


Figura 1: Fases do processo consultivo MACBETH

Para facilitar o entendimento, cada etapa do processo MACBETH será ilustrada pelo exemplo, introduzido a seguir:

Maria pretende adquirir uma impressora que lhe permita imprimir, de forma rápida e com qualidade profissional, documentos com figuras a cores. Com o objetivo de ajudar a Maria a escolher a impressora mais adequada à satisfação das

suas expectativas será utilizado o processo MACBETH de apoio à tomada de decisões.

2.3.1. Fase de Estruturação

A fase de estruturação é a fase de entendimento do problema, na qual é analisado o ambiente onde está inserido, e são identificadas as possíveis situações que exigem decisão, através da busca detalhada e concisa de informações, para que a decisão seja tomada de maneira segura e precisa. É necessário saber qual o contexto de decisão, onde se pretende uma descrição exaustiva.

2.3.1.1. Árvore de Pontos de Vista

Inicialmente, um problema complexo sempre se apresenta aos decisores de forma caótica e desorganizada. Cabe, então, ao facilitador escolher a abordagem que vai auxiliá-lo a estruturar o problema, identificando os elementos primários de avaliação, assim como as suas interrelações. Conforme já colocado, este trabalho insere-se dentro de um contexto de apoio multicritério à tomada de decisão fazendo uso de um modelo de agregação aditiva e, desta forma, se propõe a ser uma ferramenta que possibilite alcançar o processo de avaliação utilizando este caminho. Logo, a abordagem proposta neste trabalho utiliza a construção de uma *árvore de pontos de vista* como ferramenta de apoio ao processo de estruturação do problema, fazendo com que haja um aprendizado sobre o ambiente onde o problema está inserido, e também possibilitando estabelecer as relações entre os elementos considerados importantes dentro do processo de tomada de decisão.

Um ponto de vista representa todo o aspecto da realidade decisional que os atores entendem como importante para a construção do modelo de avaliação das ações. Este aspecto, que decorre do sistema de valores e/ou da estratégia de intervenção de um ator no processo de decisão, agrupa elementos primários que interferem de forma indissociável na formação das preferências deste ator (Bana e Costa, 1995b).

Sendo um ponto de vista a explicitação de um valor a levar em consideração na avaliação das ações, é importante distinguir entre ponto de vista elementar

(PVE) e ponto de vista fundamental (PVF). O PVE é importante devido às suas implicações em algum outro ponto de vista, sendo, portanto, um meio para atingir um dado fim. É aquele ponto de vista que, por alguma razão, não foi considerado fundamental. Muitas vezes diversos pontos de vista elementares formam um ponto de vista fundamental. Já o PVF é uma razão essencial de interesse na situação, sendo, portanto, um fim em si mesmo. Um ponto de vista fundamental é aquilo que vai servir como um “critério” de decisão em termos do qual os atores concordam em uma avaliação das ações potenciais.

Para que um ponto de vista seja considerado fundamental, devem ser obedecidas as seguintes propriedades (Bana e Costa, 1992):

- inteligibilidade: um ponto de vista fundamental deve ser adequado tanto como ferramenta que permita a modelagem de preferência dos atores, quanto como base para comunicação, argumentação e confrontação de valores e convicções entre os atores;
- consensualidade: um ponto de vista fundamental deve ser aceito por todos os atores como suficientemente importante para influenciar a decisão e, portanto, ser levado em conta no modelo;
- operacionalidade: para que um ponto de vista fundamental seja capaz de tornar-se operacional, deve permitir a existência de uma escala de preferência local associada aos níveis de impacto de tal PVF e possibilitar a construção de um indicador de impacto (indicador este que projeta o impacto de uma dada ação sobre o PVF). A primeira condição é necessária, mas não suficiente, uma vez que é indissociável da segunda;
- isolabilidade: um ponto de vista fundamental é isolável se é possível avaliar as ações segundo este PVF, independentemente do impacto destas ações segundo os outros pontos de vista. A isolabilidade é um aspecto crucial em uma avaliação multicritério que faz uso de um procedimento de agregação aditivo.

Exemplo (continuação):

Maria identificou três pontos de vista fundamentais e o software M-MACBETH foi então utilizado para desenvolver a árvore valor.

PV1: Qualidade de impressão a cores (abreviado: Cor)

PV2: Velocidade de impressão (abreviado: Velocidade).

PV3: Design da Impressora (abreviado: Design)

A Figura 2 mostra a árvore MACBETH construída para o exemplo da Maria. Os nós que se encontram abaixo do nó inicial (“Global” por definição, “Escolha de uma impressora” no exemplo da Maria) correspondem aos pontos de vista que Maria considera relevantes para escolher uma impressora. Note que três dos nós estão assinalados em vermelho, o que indica que “Qualidade de impressão a cores”, “Velocidade de impressão” e “Design da Impressora” são os critérios para avaliação da impressora. Note, também, que “Dimensões da impressora”, “Cor da impressora” e “Forma da impressora”, apesar de não terem sido definidos como critérios (e como tal não serem essenciais para o modelo) foram incluídos na árvore para explicitar quais os aspectos de design que são relevantes para a Maria. De uma forma análoga, a inclusão do nó “Características de Impressão” melhora a estrutura do modelo, tornando-o mais compreensível.

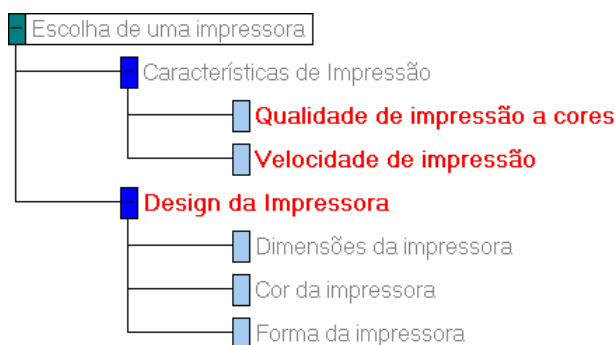


Figura 2: Árvore de Pontos de Vista.

Segundo Bana e Costa [1992] além de tornar possível a utilização de um modelo multicritério para a avaliação das ações, a construção de uma árvore de pontos de vista vai melhorar a comunicação entre os atores; vai tornar mais compreensível o que está em causa na situação decisional em questão; vai permitir clarificar convicções, assim como os fundamentos destas convicções; e vai permitir buscar compromisso entre os interesses e aspirações de cada ator envolvido no processo. Além destas características, a estrutura arborescente de pontos de vista também vai servir para facilitar o trabalho de tornar operacional os pontos de vista fundamentais, já que a análise dos pontos de vista elementares

hierarquicamente inferiores a cada PVF vai revelar possíveis indicadores e/ou cursos de ação para se alcançar os valores representados no PVF. Ou seja, a árvore de pontos de vista não é o objetivo final do trabalho do facilitador. Ela é, sim, um instrumento que vai ser utilizado em todo o restante do processo de maneira que se alcance uma boa decisão.

2.3.1.2.

Operacionalização: Construção dos Descritores

Depois de construída uma árvore de pontos de vista é necessário operacionalizá-los para que se possa avaliar o impacto de cada ação potencial nestes pontos de vista fundamentais. Esta operacionalização é feita através da construção de descritores para cada um dos critérios (pontos de vista fundamentais).

O descritor, como o nome indica, pretende fazer a descrição dos níveis de impacto das ações possíveis ou plausíveis em termos de PVF, independente do impacto que possa causar sobre outros pontos de vista. Portanto, o descritor deve ser o mais objetivo possível. Ele deve ser definido com base em descrições da realidade desejável, não dependendo dos interesses, dos gostos e das ações dos decisores. Formalmente, um "descritor" é um conjunto ordenado de níveis de impactos plausíveis (quantitativos ou qualitativos) associados a um critério (Bana e Costa, 1992). O adjetivo "plausível" reflete a natureza contextual de um critério. Por outro lado, a ordinalidade dos níveis de impacto contribui para a inteligibilidade do critério e garante o respeito da exigência fundamental de isolabilidade, fazendo do critério uma escala (ordinal) de avaliação. Para Roy (1996), descritor é "aquilo que serve como base de um julgamento".

Pode-se esclarecer melhor o que é um descritor através de um exemplo. Uma pessoa quer comprar um carro e um dos pontos de vista fundamentais é "velocidade máxima do carro". Este poderia ser medido pelo descritor quilômetros (km) por hora (h), onde, para o juízo de valor do decisor, a velocidade máxima poderia variar de 140 a 200 km/h. Isto está ilustrado na Figura 3.

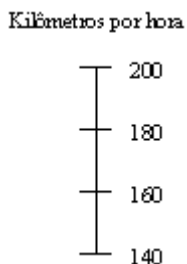


Figura 3: Exemplo de descritor

A intervenção do facilitador é crucial neste processo de operacionalização. Através de um trabalho interativo com os atores, e eventualmente se necessário com especialistas no domínio em questão, é iniciado um processo de aprendizagem onde se deseja chegar à definição de um conjunto de níveis de impactos bem compreendidos em relação à sua significação, e onde cada nível seja definido da maneira mais "precisa" possível (Bana e Costa, 1992).

Bana e Costa (1992) propõe três dimensões para a classificação de descritores. Eles podem ser quantitativos ou qualitativos; discretos ou contínuos; diretos, indiretos e contínuos. Keeney (1992) os classifica em naturais, *proxy* e construídos, que seriam para a classificação de Bana e Costa os descritores diretos, indiretos e construídos, respectivamente. Na Figura 4 são apresentadas as classificações propostas.

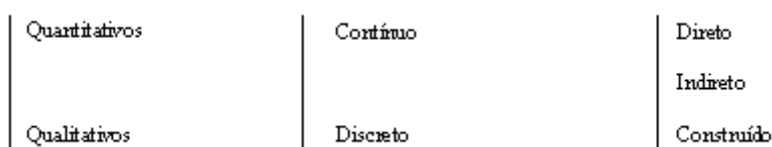


Figura 4: Tipos de descritores.

Nesta classificação os descritores quantitativos podem ser classificados como diretos ou indiretos. Já os descritores qualitativos seriam os construídos, em que a operacionalização consiste na construção de um número pouco elevado de níveis de impacto, definidos pela combinação de estados segundo os diversos pontos de vista elementares estruturalmente dependentes (Bana e Costa, 1992). Para mais detalhes, Lindner (1998) apresenta uma conceituação de cada tipo de descritor e dá exemplos.

Keeney (1992) apresenta três propriedades desejáveis aos descritores, todas elas criticamente afetadas pelo problema da ambigüidade:

- Mensurabilidade
- Operacionalidade
- Compreensibilidade

Um descritor que é mensurável define um ponto de vista fundamental de forma mais detalhada do que este PVF sozinho. Descritores qualitativos com níveis de impacto do tipo bom, regular, ruim, fraco, etc., são prejudiciais à mensurabilidade destes descritores, pois carregam um grande grau de ambigüidade, ou seja, cada pessoa que for analisar tais descritores terá entendimentos diferentes sobre cada nível. Também para descritores indiretos pode haver problemas de mensurabilidade, especialmente quando a escolha do descritor não é adequada ao ponto de vista que se quer tornar operacional.

Um descritor é operacional quando atinge os seguintes dois propósitos: descrever as possíveis conseqüências com respeito ao ponto de vista fundamental e servir como uma base sólida para a realização de julgamentos de valor a respeito de seus níveis. Desta forma, as reais conseqüências de uma ação potencial com respeito a um dado ponto de vista, devem ser descritas por um, e somente um, nível de impacto do descritor associado a este ponto de vista fundamental. Também é necessário, para garantir a operacionalidade do descritor, que seja possível expressar preferências relativas em relação aos diferentes níveis de impacto deste descritor.

Todo descritor deve ser compreensível. Isto significa que não deve haver ambigüidade ao se descrever conseqüências das ações potenciais de um ponto de vista fundamental, e, nenhuma ambigüidade em interpretar estas conseqüências neste ponto de vista fundamental deve existir. Compreensibilidade implica em não haver nenhuma perda de informação quando uma pessoa atribui um nível no descritor para descrever a conseqüência e outra pessoa o interpreta.

Exemplo (continuação):

As Figuras 5 e 6 mostram os descritores qualitativos associados aos critérios “Qualidade de impressão a cores” e “Design da Impressora”, respectivamente. O descritor quantitativo associado a “Velocidade de impressão” é o número x de páginas impressas por minuto, com x variando de 11 (mais atrativo) a 7 (menos atrativo).

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		As imagens impressas parecem produzidas num estúdio profissional	Muito Boa
2		Boas cores, pode ser utilizada para reproduzir imagens	Boa
3		Os borrões são raros e minúsculos, alguns defeitos ligeiros	Suficiente
4		A qualidade das cores é suficiente para imprimir esquemas, mas não imagens	Neutra
5		A qualidade das cores é suficiente apenas para imprimir texto a cor	Fraca

Figura 5: Descritor de “Qualidade de impressão a cores” (abreviadamente: "Cor").

-	+	Nível qualitativo
1		Muito Boa
2		Boa
3		Suficiente
4		Neutra
5		Fraca

Figura 6: Descritor de “Design da Impressora” (abreviadamente: " Design ").

-	+	Nível quantitativo
1		11
2		10
3		9
4		8
5		7

Figura 7: Descritor de “Velocidade de impressão” (abreviadamente: "Velocidade").

O processo de escolha do tipo de descritor é extremamente útil para a estruturação do problema. A escolha de um descritor vai fazer com que apareçam novos valores, aumentando o grau de conhecimento sobre o problema. Assim, se num primeiro momento parecia suficiente um certo tipo de descritor, à medida que o processo de estruturação vai avançando é provável que seja necessária uma maior formalização na construção dos níveis de impacto de um descritor, de maneira a tornar operacional o ponto de vista envolvido, possibilitando a quantificação do modelo de valores dos decisores e uma posterior avaliação das ações potenciais que se apresentam (Corrêa, 1996).

Cabe ressaltar que a definição dos descritores de impactos é uma atividade crucial da estruturação, que muitas vezes revela lacunas na família inicial de critérios de avaliação, que terá então de ser redefinida. De fato, a estruturação é um processo cíclico de aprendizagem, conforme mostra a Figura 8.

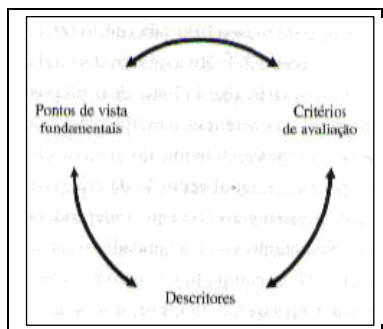


Figura 8: O processo cíclico de estruturação

2.3.1.3. Níveis de referência Bom e Neutro

A definição em cada descritor, de dois níveis de referência, de valor intrínseco no critério, que operacionalizam a idéia de um nível bom e um nível neutro, para qualquer que seja o descritor de desempenho, tem sido muitas vezes recomendada. A experiência tem revelado que os esforços necessários para identificar o que é um nível de desempenho “bom” intrinsecamente (sem dúvida satisfatório) e um nível de desempenho “neutro” intrinsecamente (nem satisfatório nem insatisfatório), contribuem significativamente para aumentar a inteligibilidade dos respectivos critérios (Bana e Costa et al., 2000).

Além disso, a explicitação dos níveis de referência bom e neutro permite utilizar a noção de atratividade intrínseca, atribuindo a um nível de desempenho uma das seguintes categorias:

- nível muito positivo, quando for, pelo menos, tão atrativo quanto um nível bom;
- nível positivo, se for, pelo menos, tão atrativo quanto um nível neutro, mas menos atrativo que um nível bom;
- nível negativo, se for menos atrativo do que um nível neutro.

Deste modo, para além de uma avaliação comparativa com vista à ordenação por ordem de atratividade relativa, ao explicitar os níveis de referência é possível apreciar o mérito intrínseco de cada uma delas.

Particularmente, as dificuldades associadas à construção de um descritor para um critério podem ser facilitadas significativamente se inicia com uma tomada de dois níveis de referência "neutro" e "bom" como âncoras para o desenvolvimento de níveis adicionais. O facilitador pode, então, estimular a reflexão, fazendo ao decisor perguntas simples como: Você pode conceber um

impacto muito atrativo, ou seja, melhor do que bom? Quais poderia ser um impacto atrativo pior do que bom? Você pode aceitar um impacto pouco atrativo, isto é, pior do que neutro e, em caso afirmativo, quais poderiam ser um exemplo de tal impacto?

Além disso, a definição dos níveis de referência bom e neutro permite utilizar um procedimento de ponderação dos critérios, simultaneamente adequado às características específicas do contexto de decisão e válido no enquadramento teórico da aplicação de um modelo aditivo de agregação (Bana e Costa et al., 2003).

Exemplo (continuação):

Maria definiu níveis de referências "bom" e "neutro" em termos concretos, para cada um dos três critérios. As Figuras 9 e 10 mostram estas referências para "Qualidade de impressão a cores" e "Design da Impressora", respectivamente, 11 e 8 páginas por minuto foram fixadas como indicando "Velocidade de impressão" boa e neutra, respectivamente (Figura 11).

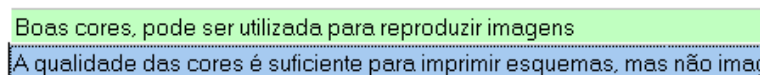


Figura 9. Referências de "Qualidade de impressão a cores".

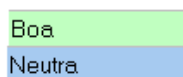


Figura 10. Referências de "Design da Impressora".



Figura 11. Referências de "Velocidade de impressão Colorida" (páginas / min).

A obtenção de uma família de pontos de vista fundamentais, assim como a construção de descritores para esta família, é o resultado esperado de uma fase de estruturação em um processo decisório desenvolvido com o auxílio de uma metodologia multicritério de apoio à decisão (Bana e Costa & Vansnick, 1995).

No entanto, de maneira a fazer evoluir o processo de apoio à decisão faz-se necessário a construção de escalas de valor cardinais, sobre cada um dos critérios,

para que seja possível a avaliação das ações. Esta atividade vai servir de base para uma nova fase de estudo, a fase de apoio à avaliação.

2.3.2. Fase de Avaliação

A definição exata de uma fronteira entre a fase de estruturação e a de avaliação não é um procedimento realístico. Existe sim, uma região de transição, onde alguns elementos ainda são parte da estruturação do problema e outros já podem ser considerados como parte do processo de avaliação das ações. Esta questão é polêmica na literatura. Bana e Costa (1992) define que a construção de escalas de valor cardinais já faz parte da fase de avaliação, pois são necessários julgamentos de valor por parte dos decisores para a construção destas escalas. Aqui também se adota esta visão.

2.3.2.1. Obtenção de Escalas de Valor Cardinais

Assim, o processo de avaliação inicia-se com a identificação de escalas de valor cardinais sobre cada um dos descritores construídos anteriormente. A tarefa de construção destas escalas é feita através da abordagem MACBETH.

A fim de ajudar uma pessoa (ou um grupo de pessoas) a prestar informações cardinais sobre a atratividade dos elementos de um conjunto finito X , a "filosofia MACBETH" consiste em ajudar o decisor, através de um processo interativo de reflexão e aprendizagem, a refinar progressivamente seus julgamentos. No entanto, mesmo que as pessoas sintam como se compreendessem facilmente a noção de diferença de atratividade, é raro vê-las pensando sobre ela, com alguma profundidade. Portanto, se queremos obter informações confiáveis, no sentido de que representa exatamente o que a pessoa sente, não faz sentido pedir informações cardinais sem algumas preparações prévias. Portanto, temos que desenvolver fases para o caminho entre informações ordinais e cardinais. Segundo Bana e Costa et al. (2003) geralmente, esse processo é gerido de acordo com as grandes linhas expostas a seguir, para mais detalhes ver Bana e Costa et al.(2003).

2.3.2.2. Obtenção de informação ordinal

Temos X como sendo um conjunto finito de elementos. Vamos dizer que nós temos “informações ordinais” (quanto à atratividade dos elementos de X), onde estes elementos são classificados (com iguais ou não) de acordo com a diminuição de atratividade. Nesse caso, é possível associar a cada elemento x de X um número $v(x)$ que satisfaz as seguintes condições de medição (condições de medição ordinal):

$$\text{CM1)} \forall x, y \in X : [x \text{ é mais atrativo do que } y \ (xPy) \Leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$\text{CM2)} \forall x, y \in X : [x \text{ é tão atrativo quanto } y \ (x|y) \Leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

Para a obtenção de informações ordinais, solicitamos ao decisor uma classificação dos elementos de X por ordem decrescente de atratividade. E quando achamos que o decisor tem dificuldades para dar tal classificação, propomos que compare dois elementos de cada vez: um dos dois elementos é mais atrativo do que o outro, e se sim, qual? Para cada uma das respostas, o software M-MACBETH irá testar a compatibilidade das informações obtidas com as informações ordinais. Se uma incompatibilidade é detectada, o decisor irá receber uma mensagem de aviso informando que tal classificação não é possível, iniciando assim discussão. Para facilitar essa discussão, o software permite que a fonte do problema seja exibida graficamente (ver Figura 12), e ainda fornece sugestões de modificações dos julgamentos que tornaria a informação de comparação pairwise compatível com informações ordinais.



Figura 12: Exemplo de incompatibilidade ordinal.

2.3.2.3.

A transição de informação ordinal para cardinal

A passagem de informação ordinal para informação cardinal constitui um salto considerável em termos de riqueza de informação. Quando temos informações ordinais sobre a atratividade dos elementos de um conjunto finito X , inserindo o mundo cardinal revela a origem da noção de força de preferência, que designamos em MACBETH por "diferença de atratividade" para evitar qualquer confusão com outra abordagem que utiliza um outro tipo de informação de preferência cardinal, como a razão de julgamentos.

Vamos dizer que temos "informação cardinal" (referente à atratividade dos elementos de X) quando:

1) temos informações ordinais (sobre essa atratividade)

2) $\forall (x, y), (z, w) \in P$, temos um número estritamente positivo que vamos escrever como sendo $R((x, y)/(z, w))$ ("medindo" a razão das diferenças de atratividade entre x e y , por um lado, e z e w por outro lado), estes números satisfazem as seguintes condições:

$$a) \forall (u, w), (w, x), (s, t) \in P : R((u, w)/(s, t)) + R((w, x)/(s, t)) = R((u, x)/(s, t))$$

$$b) \forall (u, w), (x, y), (s, t) \in P : R((u, w)/(s, t)) \times R((s, t)/(x, y)) = R((u, w)/(x, y))$$

Quando temos essas informações disponíveis, é possível associar um número $v(x)$ a cada elemento de X que satisfaçam as seguintes condições de medição (condições de medição cardinal):

$$CM1) \forall x, y \in X : [xPy \Leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$CM2) \forall x, y \in X : [x|y \Leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

$$CM3) \forall (x, y), (z, w) \in P : R((x, y)/(z, w)) = [v(x) - v(y)]/[v(z) - v(w)]$$

Temos também que:

1) Se v satisfaz CM1, CM2 e CM3, então, $\forall \alpha, \beta \in \mathfrak{R}$ com $\alpha > 0$, $\alpha.v + \beta$ também satisfaz CM1, CM2 e CM3.

2) Se v^* e v^{**} são duas funções $X \rightarrow \mathfrak{R}$ satisfazendo CM1, CM2 e CM3, então existem dois números reais, α^* e β^* com $\alpha^* > 0$, tal que $\forall x \in X$: $v^{**}(x) = \alpha^* \cdot v^*(x) + \beta^*$. Tal escala é chamada um intervalo de escala.

Vamos observar que uma maneira de dar informações cardinais (referente à atratividade dos elementos de um conjunto finito X) consiste em colocar os elementos de X sobre um eixo vertical de modo que:

1) $\forall x, y \in X$: $xPy \Leftrightarrow x$ é posicionado acima de y no eixo vertical

2) $\forall (x, y), (z, w) \in P$, $R((x, y)/(z, w)) = d(x, y)/d(z, w)$, onde $\forall s, t \in X$, $d(s, t)$ é a medida, em algumas unidades, da distância que separa os elementos s e t no eixo vertical.

2.3.2.4.

Questionamento e Julgamentos Qualitativos MACBETH

Quando temos informações ordinais, a entrada no mundo cardinal é feita através do questionamento MACBETH. Começamos perguntando ao decisor questões cuja formulação utiliza apenas dois elementos de X para obter informações sobre a noção de diferença de atratividade, de acordo com o modo de questionamento a seguir: Quando xPy (x é mais atrativo que y), que diferença de atratividade você sente entre x e y : "muito fraca", "fraca", "moderada", "forte", "muito forte" ou "extrema"? Se inseguro sobre esta diferença de atratividade, é permitido ao decisor escolher várias categorias sucessivas. Note que o nome "abordagem MACBETH" vem deste modo de questionamento: Medir Atratividade através de uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias.

Por definição, vamos dizer que temos informações de "preferência MACBETH" (sobre a atratividade dos elementos de X) quando:

1) temos informações ordinais sobre esta atratividade (relação binária P assimétrica e negativamente transitiva em X)

2) $\forall x, y \in P$, ao par (x, y) é atribuída uma das seis categorias de diferença de atratividade "muito fraca", "fraca", "moderada", "forte", "muito forte", "extrema" ou a união de várias categorias sucessivas entre estas.

As questões podem ser feitas em qualquer ordem e podem ser interrompidas a qualquer momento: se xPy e se o questionamento foi interrompido antes do decisor ter respondido o questionamento MACBETH referente ao par (x, y) , nós vamos considerar que a informação de preferência MACBETH referente a este par pertence à união de todas as categorias de diferença de atratividade (que aparece no software M-MACBETH com a menção: diferença de atratividade "positiva").

Exemplo (continuação):

Para "Velocidade de impressão", Maria prestou informações cardinais relativas a atratividade local (no que se refere à "velocidade") dos níveis "7", "8", "9", "10" e "11" páginas/min. Os julgamentos MACBETH de Maria são apresentados na matriz da Figura 13.

	11	10	9	8	7	
11	nula	mfrac-frac	frac	forte	mfort-extr	extrema
10		nula	frac	moderada	mt. forte	mt. forte
9			nula	frac-mod	forte	forte
8				nula	moderada	moderada
7					nula	frac
						mt. frac
						nula

Julgamentos consistentes

Figura 13. Matriz de julgamentos de Maria para o critério "Velocidade de impressão".

O processo de questionamento MACBETH foi realizado com o apoio interativo direto do software M-MACBETH, como segue:

1. Iniciou-se com a comparação das velocidades boa e neutra (11 e 8 páginas/min, respectivamente). Maria julgou qualitativamente a respectiva diferença de atratividade como sendo "forte" (ver figura 17).

2. A Maria foi então pedido para comparar os dois níveis extremos da gama de níveis de impactos de "Velocidade de impressão", ou seja, Maria comparou a velocidade mais atrativa e a velocidade menos atrativa (11 e 7 páginas/min, respectivamente), seguida pelo segundo nível mais atrativo (10 páginas/min) com

o menos atrativo, e assim por diante, completando assim (de cima para baixo) a última coluna da matriz; essa etapa utilizou implicitamente o nível menos atrativo (7 páginas/min) como uma referência fixa.

3. O nível mais atrativo foi, então, comparado a cada um dos outros níveis, na ordem de crescimento da atratividade, completando assim (da direita para a esquerda) a primeira linha da matriz, agora, tomando como referência fixar o nível mais atrativo (11 páginas/min).

4. O passo seguinte consistiu em comparar o nível mais atrativo com o segundo nível mais atrativo, o segundo mais atrativo com o terceiro, e assim por diante, completando assim a borda da diagonal da parte triangular superior da matriz.

Esta seqüência não é toda obrigatória. Também não é necessário completar a matriz para que uma escala MACBETH seja criada, no entanto, quanto mais informações de preferência fornecidas maior o nível de precisão da escala.

Para cada uma das respostas do decisor, o software testa a compatibilidade da informação obtida com a informação cardinal. Se for detectada uma incompatibilidade, é exibida uma mensagem de aviso ("julgamentos inconsistentes") e uma discussão se inicia. Para facilitar essa discussão, o software permite que a origem do problema seja exibida graficamente e até mesmo oferece sugestões de modificações do julgamento que tornaria a informação precardinal (ver Figura 14). O software tem a capacidade de exibir a fonte de uma incompatibilidade e de fornecer todas as maneiras possíveis para resolvê-la.



Figura 14: Sugestão de modificações de julgamentos.

2.3.2.5. Escala precardinal MACBETH

Vamos dizer que a informação de preferência MACBETH (sobre a atratividade dos elementos de X) é "precardinal" quando é compatível com as informações cardinais, ou seja, quando é possível estender para informação cardinal, sem modificar, mas somente refinar. A proposição seguinte é fácil de provar.

Proposição:

A informação de preferência MACBETH (sobre a atratividade dos elementos de X) é precardinal se e somente se for possível associar a cada elemento x de X um número de $v(x)$ que satisfaça as seguintes condições:

$$\text{CM1)} \forall x, y \in X : [xPy \Leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$\text{CM2)} \forall x, y \in X : [x|y \Leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

C3) $\forall (x, y), (z, w) \in P$, se a diferença de atratividade entre x e y é maior do que a diferença de atratividade entre z e w , então $v(x) - v(y) > v(z) - v(w)$.

Uma escala numérica $v: X \rightarrow \mathcal{R}: x \rightarrow v(x)$ que satisfaça as condições CM1, CM2 e C3 é chamada de escala precardinal.

O software M-MACBETH pode, a todo o momento em que a informação de preferência MACBETH é precardinal, determinar um exemplo de uma escala que satisfaz as condições CM1, CM2 e C3. Esta escala pode ser apresentada de forma numérica ou gráfica ("termômetro") com a possibilidade, neste último caso, de optar pela exibição ou não do valor numérico associado a cada elemento de X (ver Figura 10).

Exemplo (continuação):

A partir da matriz de julgamentos consistente, o software M-Macbeth criou a escala precardinal. O intervalo de escala definido em ("7", "8", "9", "10", "11") foi estendido pelo software para a gama completa do descritor contínuo da velocidade por interpolação linear, dando origem à função de valor seccionalmente linear cujo gráfico está representado na Figura 15.

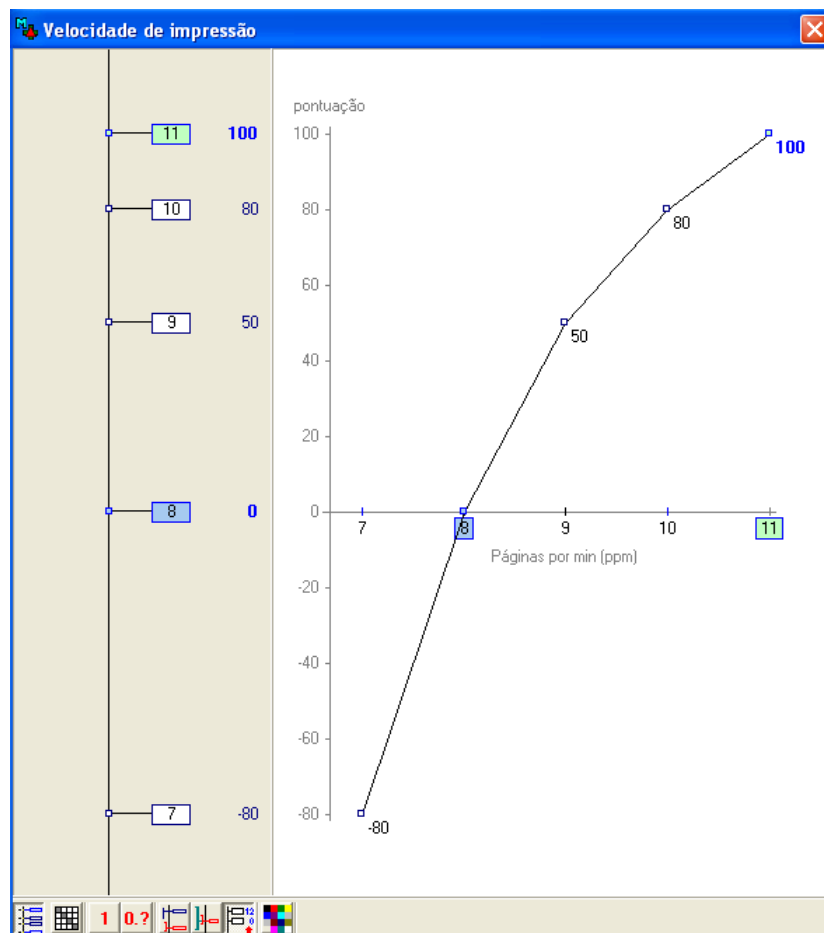


Figura 15: Função de valor seccionalmente linear de velocidade de impressão.

Note que a função de valor está ancorada nas velocidades boa e neutra, as quais foram atribuídas arbitrariamente as pontuações de 100 e 0, ou seja, $v(11) = 100$ e $v(8) = 0$, dando assim a qualquer outra pontuação um significado substantivo como uma representação numérica da atratividade relativa do respectivo nível de velocidade. Além disso, a fixação do valor de neutro igual a 0, implica que uma pontuação positiva indica diretamente uma impressora(localmente) atrativa, e uma pontuação negativa indica diretamente uma impressora pouco atrativa; do mesmo modo, a fixação do valor de boa igual a 100, uma pontuação maior ou igual a 100 indica uma impressora muito atrativa.

2.3.2.6.

De precardinal a cardinal: discussão em torno de uma escala

A escala precardinal MACBETH é apresentada graficamente ao decisor e mediante isso é comentada. Os elementos de X são posicionados em um eixo vertical de modo que:

(1) $\forall x, y \in X : x$ é posicionado acima de $y \Leftrightarrow x$ é mais atrativo que y

(2) $\forall x, y, z, w \in X$ com x mais atrativo do que y e z mais atrativo do que w , se a diferença de atratividade entre x e y é maior do que a diferença de atratividade entre z e w , então, a distância entre x e y é maior que a distância entre z e w ; e estas afirmações são verificadas, em alguns casos.

Existem muitos outros posicionamentos possíveis dos elementos de X que podem representar graficamente a informação verbal fornecida pelo decisor e quando o decisor seleciona um elemento, aparece um intervalo em torno deste elemento dentro do qual a posição do elemento selecionado pode ser modificada, obtendo assim um novo posicionamento dos elementos de X compatível com os julgamentos verbais do decisor (ver exemplo na Figura 16).

Exemplo (continuação):

Como dito anteriormente, a partir da matriz de julgamentos consistente, o software M-MACBETH criou a escala precardinal (Figura 15) que foi então discutida. Maria não a considerou uma representação adequada da magnitude relativa dos julgamentos, efetuando assim o ajuste da escala numérica MACBETH sugerida, conforme apresentado na Figura 16.

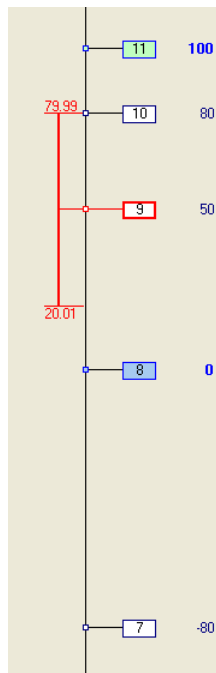


Figura 16: Intervalo de escala

Segundo Bana e Costa & Vansnick (1997) somente após este ajuste, com a introdução dos conhecimentos dos especialistas, é que fica caracterizada a construção da escala cardinal de valores.

2.3.2.7. Formulação Matemática MACBETH

Se por um lado, o método MACBETH introduz um intervalo da reta real associado a cada uma das categorias, por outro lado, este intervalo não é fixado *a priori*, sendo determinado simultaneamente com a escala numérica de valor v que está sendo procurada.

Assim, a metodologia MACBETH liga-se ao problema teórico de representação numérica de *semi-ordens múltiplas por limiares constantes* de Doignon (1987), representado por m relações binárias $(P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(k)}, \dots, P^{(m)})$, onde $P^{(k)}$ representa uma relação de preferência tanto mais forte quanto maior é k , dado um critério.

As preferências são representadas por uma função v e por funções limiares $s_k : aP^{(k)}b$, $s_k < v(a) - v(b) < s_{k+1}$, ou seja, é possível representar numericamente categorias semânticas de diferença de atratividade através de um intervalo de números reais.

Desta forma, MACBETH propõe ao decisor que exprima seus juízos de valor segundo uma escala semântica formada por seis categorias ($n = 6$), cada uma delas de dimensão não necessariamente igual:

C_1 Diferença de atratividade muito fraca $C_1 = [s_1, s_2]$ e $s_1 = 0$;

C_2 Diferença de atratividade fraca $C_2 =]s_2, s_3]$;

C_3 Diferença de atratividade moderada $C_3 =]s_3, s_4]$;

C_4 Diferença de atratividade forte $C_4 =]s_4, s_5]$;

C_5 Diferença de atratividade muito forte $C_5 =]s_5, s_6]$;

C_6 Diferença de atratividade extrema $C_6 =]s_6, +[$.

A Figura 17 é uma representação gráfica na semi-reta dos números reais positivos das categorias de atratividade MACBETH. As categorias são delimitadas por limiares constantes s_1, \dots, s_6 . Estes limiares são determinados simultaneamente à obtenção da escala de valor v . Note-se que as categorias não precisam necessariamente possuir o mesmo tamanho.

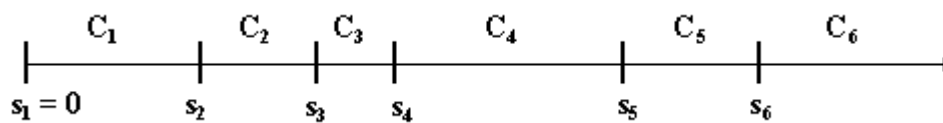


Figura 17: Representação das categorias de diferença de atratividade na semi-reta dos reais positivos.

Bana e Costa & Vansnick (1995) propõem a construção de matrizes para facilitar a expressão dos juízos de valor do decisor. Entretanto, existem situações onde este não é capaz de manter consistência em todos os seus julgamentos. Particularmente quando as matrizes de juízos de valor começam a se tornar grandes em demasia, portanto com um número muito elevado de julgamentos, é difícil para o decisor avaliar todas as ações de maneira coerente.

Há dois tipos de inconsistências: semântica (quando a atribuição de categoria de diferença de atratividade a um par de alternativas não é logicamente aceitável) e cardinal (se a representação dos julgamentos não é possível através de uma escala cardinal dentro dos números reais).

Inconsistência semântica

Suponha que um decisor atribuiu aos pares de ações (a, b) e (b, c) categorias de diferença de atratividade C_k e $C_{k'}$, respectivamente. Sendo $k > k'$, então a é mais atrativa que b de forma mais intensa do que b é mais atrativa que c . A transitividade exige que a diferença de atratividade entre a e c pertença a uma categoria $C_{k''}$, sendo $k'' \geq k$, o que significa que a diferença de atratividade entre o par (a, c) é pelo menos tão grande quanto aquela entre o par (a, b).

A utilização do teste de consistência em casos reais faz com que os decisores refaçam seus juízos de valor quando envolvidos em alguma situação de inconsistência.

Inconsistência cardinal

A inconsistência cardinal ocorre em situações em que o decisor gera um conjunto de julgamentos que são semanticamente consistentes, mas que não podem ser representados numericamente. É conhecido da teoria (Doignon, 1987; Bana e Costa & Vansnick, 1995) que a representação numérica de semi-ordens múltiplas por limiares constantes nem sempre é possível.

Cabe destacar que o que se deseja é que a diferença de valor entre as alternativas seja um número compreendido entre os valores absolutos s_k e s_{k+1} . Uma vez que a diferença de atratividade entre duas alternativas é, por exemplo, forte, isto não significa que a amplitude da categoria C_4 é grande, mas sim que os valores absolutos dos limiares desta categoria são elevados.

Matematicamente, a metodologia MACBETH é constituída por quatro problemas de programação linear (PPLs) sequenciais que realizam a análise de consistência cardinal, a construção da escala de valor cardinal e revelam fontes de inconsistência.

O esquema da Figura 18, adaptado de Bana e Costa & Vansnick (1995), representa a forma de interação utilizada pela abordagem MACBETH. O processo é iniciado com a elaboração de juízos de valor, na forma de uma matriz; os programas lineares que compõem MACBETH são executados, e a partir dos resultados é feita a validação dos resultados. Caso existam inconsistências nos julgamentos, ou o decisor sinta que a escala não é representativa, parte-se para um ajuste dos julgamentos. O processo é repetido tantas vezes quanto necessário até

que, ou se alcance a consistência ou se busque através de outra metodologia, que pode ser de subordinação, uma representação dos juízos de valor do decisor.

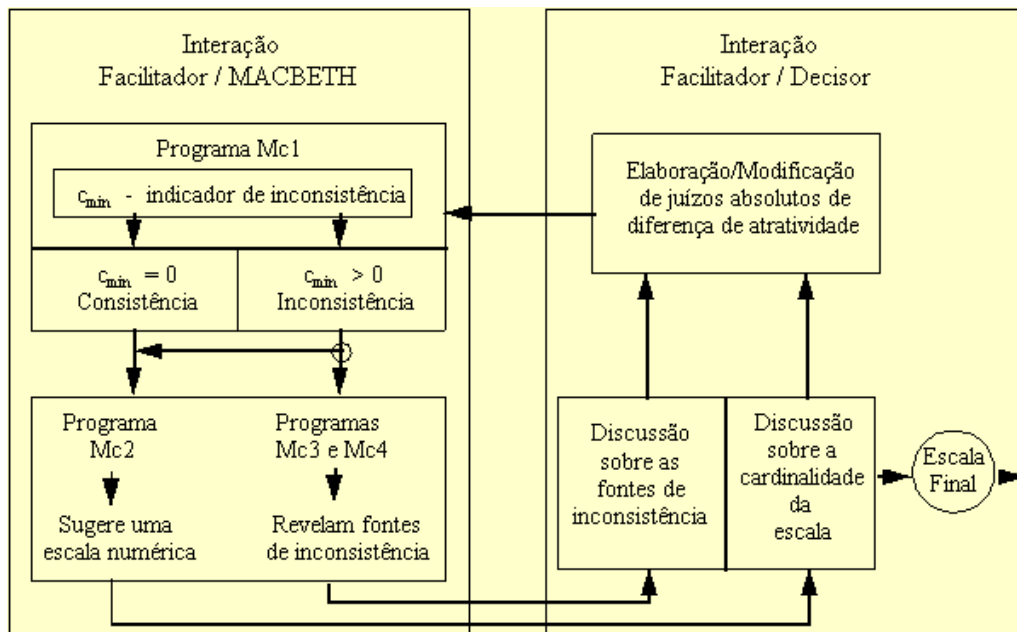


Figura 18: Esquema Interativo MACBETH

Neste trabalho é apresentada uma discussão sobre os programas, contudo o objetivo do não é a apresentação em detalhes, portanto para maiores explanações sobre estes tópicos refira-se a Bana e Costa (1992), Bana e Costa & Vansnick (1994a), e (1995a,b,c).

O primeiro PPL analisa a consistência cardinal dos julgamentos de valor do decisor, indicando se o problema de representação numérica de semi-ordens múltiplas tem solução ou não.

O artifício utilizado pela abordagem MACBETH é a introdução de uma variável auxiliar c . Esta variável só vai ser ativada pelo programa caso não seja possível representar com limiares constantes os julgamentos do decisor. Desta forma, pode-se identificar inconsistências cardinais quando a variável c for diferente de zero. A formulação compacta do programa está apresentada abaixo.

Probl. Mc1

Min c

sr: r0) $s_1, \dots, s_6 \geq 0$; $v(a) \geq 0 \quad \forall a \in A$; $c \geq 0$

r1) $s_1 = 0$

r2) $v(a_1) = 0$ em que $\forall a \in A, aPa_1$;

$$r3) \forall k \in \{2, \dots, 6\}: s_k - s_{k-1} \geq 1000;$$

$$r4) \forall k \in \{1, \dots, 6\}, \forall (a, b) \in C_k: v(a) - v(b) \geq s_k + 1 - c;$$

$$r5) \forall k \in \{1, \dots, 5\}, \forall (a, b) \in C_k: v(a) - v(b) \leq s_{k+1} - 1 + c.$$

A função-objetivo do problema é a minimização da variável auxiliar c , cuja utilidade é verificar se há inconsistência nos julgamentos do decisor. A restrição $r0$ garante a condição de não-negatividade para todas as variáveis do problema. As restrições $r1$ e $r2$ fixam uma origem para a escala, garantindo que o limiar inferior da categoria de diferença de atratividade C_1 , assim como o valor da ação menos atrativa seja igual a zero, o que não é restritivo. O conjunto de restrições $r3$ estabelece que o tamanho mínimo de cada categoria seja igual a 1.000 unidades. Esse é um valor arbitrário e foi escolhido de maneira a que o erro introduzido nas duas restrições seguintes não tenha um valor significativo. As restrições $r4$ e $r5$ são a aplicação da formulação desenvolvida por Doignon [1987] para o problema de semi-ordens múltiplas, cuja condição é: $aP^{(k)}b \quad s_k < v(a) - v(b) < s_{k+1}$,

Ou seja, para cada par de ações, ou para cada posição da matriz de juízos de valor, deve-se garantir que a diferença de valor entre as duas ações esteja entre os limites da categoria de diferença de atratividade que lhes foi atribuída. De maneira a ser possível a utilização de programação linear, a equação acima foi transformada em duas, representadas pelas restrições $r4$ e $r5$. Como, no entanto, em programação linear não é possível a utilização de desigualdades restritas (do tipo *maior que* ou *menor que*), foi necessário um artifício para transformar estas desigualdades em outras do tipo *maior ou igual a* ou *menor ou igual a*. O artifício utilizado foi a inclusão de uma constante, com o valor de 1 unidade, fazendo com que a condição teórica seja respeitada. A inclusão desta constante representa um erro na formulação do problema. Entretanto, a restrição $r3$ garante que o tamanho mínimo de cada categoria seja de 1.000 unidades e, portanto o erro introduzido aqui é de apenas 0,1%, o que foi considerado um valor aceitável pelos autores da metodologia.

Porém, em certas situações o conjunto de julgamentos de valor do decisor não pode ser representado por uma escala numérica, dentro dos números reais. Nestes casos, os julgamentos de valor do decisor são considerados inconsistentes, e o problema de representação numérica de semi-ordens múltiplas por limiares

constantes não possui solução. Para que o programa Mc1 tenha sempre solução é introduzida uma variável auxiliar c . Esta variável é ativada sempre que a diferença entre os valores de duas ações não pertença ao intervalo definido pelos limiares da categoria de diferença de atratividade à qual pertencem as ações.

Formulado desta maneira o programa Mc1 vai sempre produzir uma escala representando os julgamentos de valor do decisor. Cabe, no entanto, estar atento ao resultado da função-objetivo do problema, pois caso esta seja diferente de zero, a escala pode não ser uma representação fiel dos julgamentos. Porém, o resultado do programa já é uma aproximação que permite uma interação com o decisor, de maneira a rever seus julgamentos inconsistentes. Também deve-se ressaltar que o programa Mc1 possui infinitas soluções.

Uma vez que todos os problemas de inconsistência, semântica ou cardinal, encontrados na matriz de juízos de valor tenham sido solucionados, pode-se fazer evoluir o processo de tomada de decisão construindo uma escala de valor cardinal que represente o conjunto de julgamentos do decisor. Para tal, a metodologia MACBETH faz uso do programa linear abaixo.

Probl. Mc2

$$\text{Min} \left\{ \sum_{(a,b) \in C_{k,k=1,\dots,5}} [\varepsilon(a,b) + \eta(a,b)] + \sum_{(a,b) \in C_6} [\alpha(a,b) + \delta(a,b)] \right\}$$

$$\text{sr: r0) } s_1, \dots, s_6 \geq 0; \quad v(a) \geq 0 \quad \forall a \in A;$$

$$\text{r1) } s_1 = 0$$

$$\text{r2) } v(a_1) = 0 \text{ em que } \forall a \in A, aPa_1;$$

$$\text{r3) } \forall k \in \{2, \dots, 6\}: s_k - s_{k-1} \geq 1000;$$

$$\text{r4) } \forall k \in \{1, \dots, 6\}, \forall (a,b) \in C_k: v(a) - v(b) \geq s_k + 1;$$

$$\text{r5) } \forall k \in \{1, \dots, 5\}, \forall (a,b) \in C_k: v(a) - v(b) \leq s_{k+1} - 1;$$

$$\text{r6) } \forall k \in \{1, \dots, 5\}, \forall (a,b) \in C_k: v(a) - v(b) = 0.5(s_k + s_{k+1}) + \varepsilon(a,b) - \eta(a,b);$$

$$\text{r7) } \forall (a,b) \in C_6: v(a) - v(b) = s_6 + 1 - \alpha(a,b) + \delta(a,b).$$

O problema da representação numérica de semi-ordens por limiares constantes, quando construído para o conjunto de julgamentos de valor conforme a metodologia MACBETH, admite infinitas soluções. Bana e Costa e Vansnick (1994a) adotaram como critério de escolha da solução, a minimização dos desvios

absolutos entre a diferença de valor de duas ações $(v(a) - v(b))$ e o ponto médio da categoria de diferença de atratividade a qual pertencem $0.5(s_k + s_{k+1})$, para $k \neq 6$. Isto significa que a diferença de valor entre duas ações da categoria C_k ($k \neq 6$) deve ser a mais próxima possível da diferença de valor de outro par de ações da categoria C_k e ao mesmo tempo o mais afastada possível da diferença de valor de ações de outra categoria. Para a categoria C_6 o critério escolhido foi a minimização dos desvios absolutos entre a diferença de valor das ações e o ponto $s_6 + 1$. A Figura 19 é uma representação gráfica do programa Mc2 para $k = 1, \dots, 5$. Nota-se que caso a diferença de valor das ações esteja à esquerda do ponto médio o desvio ativado é $\varepsilon(a, b)$, caso contrário $\eta(a, b)$. Para a categoria C_6 a Figura 20 é a ilustração. Da mesma forma, caso a diferença de valor das ações seja menor do que o ponto $s_6 + 1$ o desvio ativado é $\alpha(a, b)$, caso contrário $\delta(a, b)$.

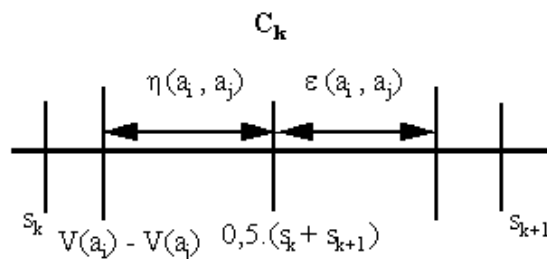


Figura 19: Representação gráfica do programa Mc2 para $k \neq 6$.

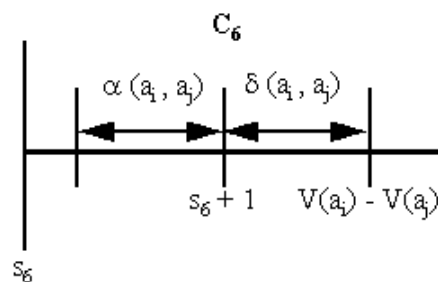


Figura 20: Representação gráfica do programa Mc2 para $k = 6$.

A função-objetivo do problema é, portanto, a minimização da soma dos desvios absolutos. A restrição $r0$ garante a condição de não-negatividade para todas as variáveis do problema. O conjunto de restrições $r1$ e $r2$ $r3$ é igual ao programa Mc1, discutido anteriormente. As restrições $r4$ e $r5$, da mesma forma, também são similares àquelas já apresentadas, apenas que não há mais a necessidade de incluir a variável auxiliar c , uma vez que todas as fontes de

inconsistência já foram analisadas. A restrição $r6$ faz com que a diferença de valor entre o par (a,b) de ações seja igual ao valor central da categoria de diferença de atratividade a qual pertencem, mais um desvio absoluto. Esta restrição é aplicada a todos os pares de ação pertencentes a C_k com $k = 1, \dots, 5$. Para os pares que possuem diferença de atratividade extrema, ou seja, $k = 6$, a restrição $r7$ faz com que a diferença de valor entre o par de ações seja igual ao limiar inferior da categoria mais 1 unidade, mais o desvio absoluto. Ou seja, procura fazer com a diferença de valor entre pares de ações que pertençam à categoria C_6 esteja o mais próximo possível do limiar inferior desta categoria.

A resolução do programa formulado acima vai resultar em uma escala de valor cardinal para os julgamentos de valor do decisor apresentados na matriz de juízos de valor, segundo uma representação de semi-ordens múltiplas através de limiares constantes.

Quando no Probl. Mc1 c é diferente de zero, há inconsistências nos julgamentos de valor do decisor. O procedimento mais adequado é uma revisão dos juízos iniciais, discutindo com decisor possíveis modificações para tentar ultrapassar problemas de inconsistência. É com o objetivo de facilitar esta fase de discussão que foram concebidos os programas $Mc3$ e $Mc4$ que evidenciam possíveis causas de inconsistência.

Tecnicamente, os programas $Mc3$ e $Mc4$ resolvem, respectivamente, os problemas 3 e 4, com a mesma função-objetivo e apenas diferem no fato de as restrições $r4$ e $r5$ fazerem parte apenas do problema 3:

Função-objetivo comum aos problemas 3 e 4:

$$\text{Min } \left\{ \sum \beta(a,b) + \sum \alpha(a,b) \right\}$$

Restrições do problema 3:

$r0, r1, r2, r3, r4, r5$ do problema 2;

$$r8) \forall k \in \{1, \dots, 6\}, \forall (a,b) \in C_k : v(a) - v(b) = s_k + 1 - \alpha(a,b) - \delta(a,b);$$

$$r9) \forall k \in \{1, \dots, 5\}, \forall (a,b) \in C_k : v(a) - v(b) = s_{k+1} - 1 + \beta(a,b) - \gamma(a,b).$$

Restrições do problema 4:

r_0, r_1, r_2, r_3, r_8 e r_9 .

Ao minimizar a soma das variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ os programas $Mc3$ e $Mc4$ fazem ressaltar pares de ações cuja identificação com as categorias respectivas especificadas pelo decisor introduz problemas de inconsistência. Esses pares são aqueles para os quais resultam valores de $\alpha(a,b)$ ou de $\beta(a,b)$ diferentes de zero na solução ótima dos problemas 3 e 4, respectivamente (Figura 21).

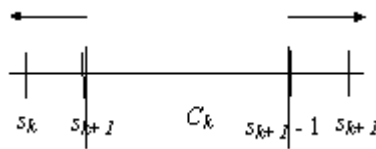


Figura 21: Função das variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ para C_k ($k \neq 6$).

É evidente que em qualquer solução dos programas lineares correspondentes ter-se-á sempre $\alpha(a,b) \cdot \beta(a,b) = 0$ e que em caso de consistência ($c = 0$) todas estas variáveis auxiliares são nulas. A diferença entre as soluções ótimas destes dois problemas tem a ver com o fato de se restringirem (problema 3) ou não (problema 4) as soluções possíveis a valores das variáveis $\alpha(a,b)$ e $\beta(a,b)$ não superiores ao valor de c , pela introdução ou não das restrições r_4 e r_5 .

Finalmente, é importante ter presente que, numa via construtivista de apoio à decisão, o facilitador deve sempre se manter atento a não propor modificações de forma normativa, mas sim sugerir de uma forma estritamente indicativa.

2.3.2.8. Informação de preferência inter-critérios

Uma vez realizados todos os julgamentos absolutos de valor segundo cada um dos critérios, é necessário a obtenção de informações de natureza inter-critérios (representadas por constantes de escala, taxas de substituição ou pesos), para uma avaliação global.

A determinação destas taxas de substituição é feita com base na importância relativa dos critérios. Estas taxas (em linguagem comum "pesos") são necessárias para que seja possível a construção de uma regra de agregação (que geralmente é

aditiva). Estes parâmetros são na realidade constantes de escala necessárias para que as escalas de valor cardinais locais sejam consideradas em conformidade com suas importâncias relativas segundo os juízos de valor dos decisores.

Sendo os “pesos” taxas de substituição, a sua determinação terá obrigatoriamente que ser feita com referência às escalas de impactos dos critérios. Assim, estas constantes de escala (pesos aditivos) não possuem nenhum significado intrínseco ou absoluto, e é teoricamente incorreto tentar determiná-los sem o conhecimento da extensão das escalas de impactos (descritores). Keeney (1992, pp. 147-148) refere-se a este erro como *The Most Common Critical Mistake* (O Erro Crítico Mais Comum).

Para exemplificar, imagine-se numa situação de avaliação de propostas envolvendo apenas os critérios “Prazo de execução” e “Preço global”, sendo os prazos bom e neutro propostos, respectivamente 35 meses e 40 meses, e os preços bom e neutro propostos, respectivamente 15 milhões e 20 milhões de reais. Seja (35 meses, 20 milhões de reais) o perfil de impactos de uma proposta fictícia A, e (40 meses, 15 milhões de reais) o da proposta fictícia B. Admita-se que, quando confrontada com a comparação global entre A e B, a Comissão de Avaliação julgou A mais atrativa do que B, o que significa que o dono da obra estaria disposto a prescindir de um ganho de 5 milhões de reais, de 20 para 15 milhões, para baixar o prazo de 40 para 35 meses. Neste caso, o modelo aditivo tomará um valor *maior* para o peso do critério “Prazo” do que para o peso do critério “Custo” (desde que os valores parciais atribuídos aos impactos bom e neutro sejam sempre iguais e todos os critérios, por exemplo, 100 e 0, respectivamente).

Suponha-se agora que, se verificou que o prazo neutro é afinal de 39 meses, em vez de 40, e que o prazo bom é de 36 meses, em vez de 35, mantendo-se os preços bom e neutro. Isto é, o intervalo de variação do prazo seria entre 36 meses (que, nas condições acima estabelecidas, valeria 100 unidades de valor parcial por ser o de impacto bom) e 39 meses (que passaria a valer 0, por ser o de impacto neutro). Nestas circunstâncias, a Comissão de Avaliação deveria confrontar o perfil A’ (36 meses, 20 milhões de reais) com o perfil B’ (39 meses, 15 milhões de reais). Não é irrealista admitir que B’ fosse agora julgada preferível a A’. Então, o peso do critério “Prazo” passaria, necessariamente, a ser *menor* do que o peso do critério “Custo”. Qual seria, afinal, o critério mais “importante”?

Este exemplo, não deixa dúvidas sobre a necessidade de se levar em conta os intervalos de escala sobre os pesos dos critérios, e evidencia o quanto é incorreto atribuir valores diretamente aos “pesos” sem referência as escalas do descritor de desempenho. Portanto, o fato dos pesos no modelo aditivo serem taxas de substituição, que operacionalizam a noção de compensação, obriga que a sua determinação seja feita com referência às escalas de impactos dos pontos de vista fundamentais considerados. Perguntar diretamente se um critério é mais importante do que outro critério é “o erro crítico mais freqüente”. É por esta razão que os procedimentos de ponderação corretos - entre eles o clássico *tradeoff procedure* (Keeney e Raiffa [1976]), e o pragmático *swing weighting* (von Winterfeld e Edwards, em Bana e Costa e Vansnick [1995c]) - baseiam o cálculo das taxas de substituição nas respostas dos avaliadores a questões que requerem da parte destes a comparação de alternativas de referência.

Tradicionalmente, estas alternativas de referência são definidas com base nos *melhores e piores níveis de impacto segundo os vários critérios*. No entanto, Bana e Costa, Ferreira e Vansnick (1995), aconselham, em determinados casos, a definição de um nível de impacto *bom* e de um nível de impacto *neutro* (isto é, nem atrativo nem repulsivo) segundo cada critério. Esta recomendação vem do fato que a utilização dos níveis *melhor* e *pior* em algumas situações pode gerar um sentimento de repulsividade muito forte do avaliador em relação ao pior nível de impacto, fazendo com que os juízos de valor não representem fielmente os seus sentimentos.

Como exemplo para facilitar o entendimento, pode-se pensar na compra de um determinado produto, onde o decisor deve decidir entre os critérios preço e qualidade, qual considera o mais importante. Constrói-se então, um descritor de impacto para cada critério e utiliza-se os piores e melhores níveis para que o decisor decida-se qual critério considera mais importante. No entanto, o pior nível de preço lhe é tão repulsivo (por exemplo, um valor que ele considera extremamente alto), que o decisor prefere pagar o valor mais baixo (melhor nível de impacto no critério preço) por um produto de pior qualidade em vez de pagar um valor tão alto para ter um produto de melhor qualidade. Caso tivessem sido utilizados os níveis *neutro* e *bom* para o questionamento, a resposta poderia ser outra, pois talvez o decisor admitisse pagar um valor um tanto mais alto para obter um produto com qualidade superior.

Em MACBETH, as alternativas de referência são definidas com base nos níveis de impactos *bom* e *neutro* segundo cada critério. É por isso que, a definição de níveis de referência bom e neutro para cada critério constitui uma fundamentação particularmente sólida e bem adaptada para essa finalidade. Eles permitem que cada critério seja representado por um perfil de referência que tenha o desempenho *bom* nesse critério e *neutro* nos demais critérios.

De maneira a que não sejam perdidas informações a respeito do critério considerado menos importante, atribuindo peso nulo a um critério real, deve-se introduzir um outro perfil de referência, correspondente a um critério artificial, que possui o nível *neutro* em todos os critérios. A eventual atribuição de peso zero a um critério relevante violaria o axioma da exaustão (Roy e Bouyssou, 1993).

Outra vantagem de se definir níveis de referência *bom* e *neutro* é a possibilidade disto oferecer o desenvolvimento de um processo de ponderação qualitativo baseado em referências fixas, que não dependem das opções existentes. Assim sendo, para ultrapassar o problema colocado pela exigência de cálculo dos pesos *a priori*, basta que o processo de ponderação se baseie em níveis de impacto de *valor intrínseco*, como são os níveis *bom* e *neutro*.

Exemplo (continuação):

Para o exemplo de Maria, a definição dos níveis de referência bom e neutro permitiu que cada critério fosse representado por um perfil de referência, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Perfis de referência – Escolha de uma Impressora

Perfis de Referência	Cor	Design	Velocidade
[Cor]	Boa	Neutro	Neutra
[Design]	Neutra	Bom	Neutra
[Velocidade]	Neutra	Neutro	Boa
[tudo inf.]	Neutra	Neutro	Neutra

O processo de determinação das taxas de substituição consiste de duas etapas principais: uma ordenação prévia dos pontos de vista fundamentais e a geração de uma escala, que normalizada vai fornecer as taxas de substituição entre os PVF's.

A utilização da metodologia MACBETH para a determinação destas taxas facilita o processo de tomada de decisão, uma vez que com o mesmo tipo de

procedimento utilizado para a determinação das escalas de valor cardinais locais é possível a obtenção das constantes de escalas necessárias à agregação das avaliações locais das ações potenciais.

Inicialmente é solicitado ao decisor para exprimir julgamentos holísticos sobre os pontos de vista fundamentais respondendo à pergunta:

“Considere-se uma alternativa fictícia com um nível neutro em todos os PVF’s. Sendo possível melhorar o impacto de neutro para bom num só PVF, mantendo todos os demais ao nível neutro, seria mais atrativo passar para o nível bom no ponto de vista fundamental PVF_i ou no PVF_j ?”

A questão acima é feita de forma a preencher uma matriz conforme a Tabela 2. Cada elemento $X_{i,j}$ da matriz vai assumir o valor 1 se e só se, passar para o nível superior no PVF_i for considerado mais atrativo que no PVF_j . Caso contrário, o valor de $X_{i,j}$ é igual a zero. Matematicamente, poderia-se escrever:

$$X_{i,j} = 1 \text{ se e somente se } PVF_i > PVF_j, \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$X_{i,j} = 0 \text{ caso contrário}$$

Tabela 2: Matriz de Ordenação dos Pontos de Vista Fundamentais.

	PVF₁	PVF₂	.	.	PVF_{n-1}	PVF_n
PVF₁		$X_{1,2}$	.	.	$X_{1,n-1}$	$X_{1,n}$
PVF₂	$X_{2,1}$		.	.	$X_{2,n-1}$	$X_{2,n}$
.
.
PVF_{n-1}	$X_{n-1,1}$	$X_{n-1,2}$	.	.		$X_{n-1,n}$
PVF_n	$X_{n,1}$	$X_{n,2}$	.	.	$X_{n,n-1}$	

Este procedimento é efetuado para ordenar os PVF's em ordem decrescente de atratividade global. Esta ordenação é feita somando-se o valor dos elementos $x_{i,j}$ em cada linha. Quanto maior o somatório da linha mais atrativo é o ponto de vista. A Tabela 3 apresenta um exemplo de matriz de ordenação de PVF's para um conjunto de quatro pontos de vista fundamentais.

Tabela 3: Exemplo de Matriz de Ordenação de PVF.

	PVF1	PVF2	PVF3	PVF4	SOMA
PVF1	-	1	1	0	2
PVF2	0	-	0	0	0
PVF3	0	1	-	0	1
PVF4	1	1	1	-	3

O resultado acima nos permite considerar que o PVF4 é o mais atrativo, seguido pelo PVF1, em seguida o PVF3 e finalmente o PVF2, que é considerado o menos atrativo do conjunto.

Exemplo (continuação):

Para o exemplo da Maria, os julgamentos MACBETH permitiram a seguinte classificação dos perfis de referência por ordem decrescente de atratividade global: [Cor], seguido por [Design], seguido por [Velocidade] e finalmente [neutro].

A ordenação dos pesos dos critérios é determinada pela ordenação das “alternativas de referência” em termos da sua atratividade global. A obtenção desta ordenação dos critérios é o objetivo da primeira etapa do processo de determinação das taxas de substituição, e vai servir para que seja possível a utilização de uma matriz de juízos de valor.

Desta forma, a segunda etapa do processo inicia-se com a construção de uma matriz de juízos de valor, semelhante àquelas construídas para determinação das escalas de valor cardinal locais. Ou seja, vai-se construir uma matriz onde os elementos estarão ordenados em uma seqüência decrescente de atratividade, onde o ponto de vista fundamental considerado mais importante na etapa anterior vai situar-se em linha mais acima que os demais, e em coluna, mais a esquerda. Isto é necessário para que seja possível fazer uso de uma matriz triangular superior para os julgamentos de diferença de atratividade. A grande vantagem da utilização de uma matriz ordenada é que facilmente pode-se fazer o teste de inconsistência semântica, ou seja, os julgamentos de diferença de atratividade não podem decrescer em linha da esquerda para a direita, e em coluna não podem aumentar de cima para baixo.

O princípio de preenchimento da matriz de juízos de valor para determinação das taxas de substituição é similar àquele descrito anteriormente quando da construção das escalas de valor cardinais para os níveis de impacto de cada ponto de vista fundamental, ou seja, é baseado em julgamentos absolutos de diferença de atratividade. Apenas a forma de questionamento é levemente diferente.

Bana e Costa e Vansnick (1994a) propõem ao decisor que responda a seguinte pergunta, por exemplo:

Uma vez que passar do nível pior (ou neutro) para o nível melhor (ou bom) no PVF₊ foi considerado mais atrativo do que no PVF₋, mantendo todos os demais constante;, esta diferença de atratividade é fraca, forte,?

As categorias que são utilizadas para responder esta questão são as mesmas introduzidas anteriormente, ou seja, diferença de atratividade muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema.

Exemplo (continuação):

O passo seguinte foi solicitar à Maria, julgamentos qualitativos referentes à diferença de atratividade entre critérios. Iniciou-se com a comparação do critério mais atrativo com o segundo critério mais atrativo, perguntando: "O quanto mais atrativo é passar de neutro para bom no critério "Qualidade de impressão a cores" do que passar de neutro para bom no critério "Design da Impressora"?" Posteriormente foi feita uma comparação semelhante entre [Cor] e [Velocidade], e entre [Design] e [Velocidade], completando assim a matriz de julgamentos MACBETH (ver figura 22). Assim como antes, controles de consistência foram feitos automaticamente cada vez que um julgamento era inserido na matriz.

	[Cor]	[Design]	[Velocidade]	[tudo inf.]
[Cor]	nula	nula	moderada	forte
[Design]	nula	nula	moderada	forte
[Velocidade]			nula	moderada
[tudo inf.]				nula

Julgamentos consistentes

extrema
mt. forte
forte
moderada
fraca
mt. fraca
nula

Figura 22: Matriz de julgamentos de Maria referente à atratividade global dos critérios.

2.3.2.9. Escala de atratividade global

A partir deste conjunto de julgamentos, a metodologia MACBETH é executada, exatamente da mesma forma já descrita, primeiramente para a verificação de eventuais inconsistências semânticas e cardinais e depois para a determinação de uma escala de valor cardinal que represente os julgamentos de valor do decisor. A escala obtida é então normalizada, fornecendo os valores das taxas de substituição entre os PVF's, tornando possível o uso de um modelo de agregação aditivo. Para se ter a normalização, basta dividir o valor obtido para cada PVF pelo somatório dos valores que formam a escala MACBETH (Bana e Costa et. al.,1995). Ou seja, aplicar-se a fórmula abaixo:

$$p_j = \frac{v(PVF_j)}{\sum_{j=1}^n v(PVF_j)}$$

Estes pesos são representados no software M-MACBETH, sob a forma de um "histograma". Ao decisor é, então, pedido para examinar e confirmar os pesos, e também é informado o intervalo em que o peso relativo do critério pode ser alterado, respeitando a compatibilidade com a matriz de julgamentos de ponderação.

Exemplo (continuação):

Para o exemplo da Maria, usando o procedimento descrito e após os ajustes da escala MACBETH inicialmente proposta pelo software, nós finalmente obtemos os seguintes pesos: $v([\text{Cor}]) = 60$; $v([\text{Design}]) = 25$; $v([\text{Velocidade}]) = 15$ e $v([\text{neutro}]) = 0$.

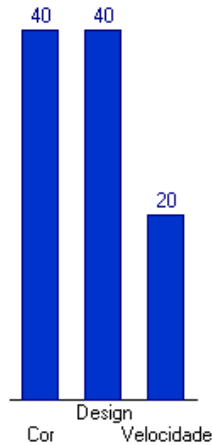


Figura 23: Histograma de pesos

Com a determinação das taxas de substituição entre PVF, o processo de tomada de decisão está se encaminhando para o final. Entretanto, uma última atividade ainda deve ser realizada para que seja possível a avaliação global das ações e por conseqüência a elaboração das recomendações. Esta atividade é a definição dos impactos das ações potenciais nos pontos de vista fundamentais e este é o assunto da próxima seção.

2.3.3. Definição do Perfil de Impacto

O último passo em um processo de apoio multicritério à decisão, antes de passar à avaliação global propriamente dita, é a determinação do impacto de cada ação potencial sobre cada um dos pontos de vista fundamentais. Portanto, na presença de um conjunto A de m ações potenciais e de um conjunto de níveis de impacto N_j , segundo um ponto de vista fundamental j , é necessário que seja concebido um procedimento operacional que indique como "projetar" o conjunto A sobre a escala N_j de maneira a selecionar o(s) níveis que melhor representam o impacto real de cada uma das ações de A (Bana e Costa, 1992). A Figura 24 representa o perfil de impactos da ação potencial a pertencente ao conjunto A. O decisor deverá apreciar cada ação, com base nos descritores definidos anteriormente.

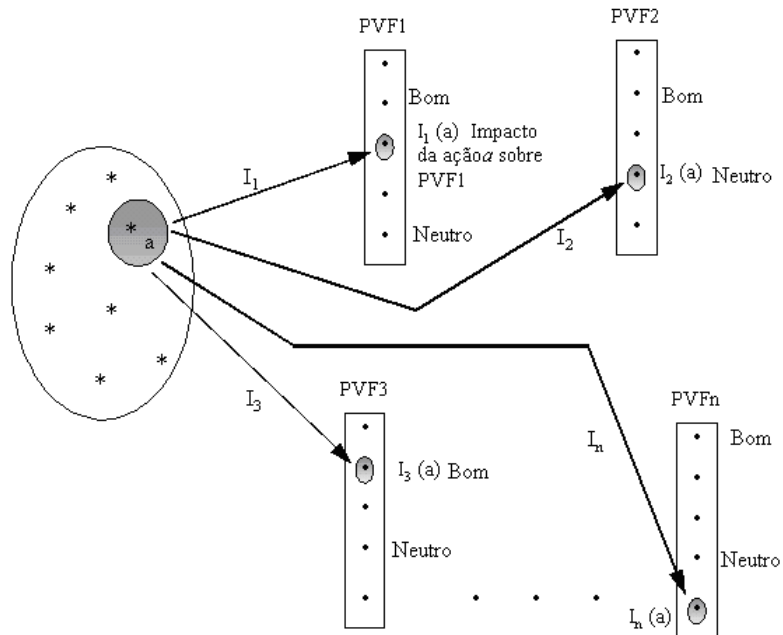


Figura 24: Perfil de Impacto da Ação a .

Exemplo (continuação):

Depois de ter consultado o mercado, Maria fez uma pequena lista A de cinco modelos de impressoras com preços semelhantes:

$$A = \{PH, Conan, Espon, Sister, Nomark\}$$

Maria introduziu estas cinco ações potenciais (opções de escolha) no software M-MACBETH.

A Tabela 4 apresenta os perfis de impacto das cinco impressoras que, em conjunto, constituem a tabela de impacto para o exemplo de Maria. As duas linhas inferiores na Tabela 13 mostram os perfis de impacto de [bom] e [neutro], que podem ser vistos como os perfis de impacto das duas opções de referência fictícias "boa em tudo" e "neutra em tudo", respectivamente.

Tabela 4: Perfis de impacto e perfis de referência

Opções	Cor	Design	Velocidade
<i>PH</i>	Boa	Suficiente	7
<i>Conan</i>	Suficiente	Muito boa	9
<i>Espan</i>	Neutra	Neutra	9
<i>Sister</i>	Boa	Fraca	8,5
<i>Nomark</i>	Suficiente	Suficiente	10,5
[Bom]	Boa	Bom	Boa
[Neutro]	Neutra	Neutro	Neutra

Uma vez que foi determinado o perfil de impactos para cada ação, representado por $\{I_1(a), I_2(a), \dots, I_j(a), \dots, I_n(a)\}$, e que anteriormente já tinham sido construídas escalas de preferências locais associadas a cada um dos PVF's, inclusive com a determinação de escalas de valor cardinais associando um valor numérico a cada nível de impacto de todos os descritores, pode-se diretamente obter as avaliações parciais da ação a , associando a cada impacto $I_j(a)$ o respectivo valor numérico do nível de impacto correspondente no descritor N_j . Esta avaliação parcial pode ser apresentada na forma de uma matriz, semelhante à Tabela 5.

Tabela 5: Avaliação Parcial das Ações Potenciais.

	Ação a	Ação b	...	Ação m
PVF_1	$I_1(a)$ $v(I_1(a))$	$I_1(b)$ $v(I_1(b))$	...	$I_1(m)$ $v(I_1(m))$
PVF_2	$I_2(a)$ $v(I_2(a))$	$I_2(b)$ $v(I_2(b))$	...	$I_2(m)$ $v(I_2(m))$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
PVF_n	$I_n(a)$ $v(I_n(a))$	$I_n(b)$ $v(I_n(b))$	...	$I_n(m)$ $v(I_n(m))$

Os impactos são valorados pela construção de uma *função-critério cardinal* v_j para cada critério, o qual resulta no valor parcial $v_j(a)$ de cada ação, segundo cada PVF. Como ilustração, suponha que o nível de impacto da ação a segundo o ponto de vista fundamental 3 é o nível de impacto bom do descritor para aquele PVF ($I_3(a) = \text{nível bom}$). Então, a avaliação parcial da ação a na dimensão de PVF3 é o valor que este nível de impacto obteve quando da construção da escala de valor cardinal. Como a metodologia MACBETH atribui pontuações fixas de 0 e 100 aos níveis de desempenho neutro e bom, respectivamente, então ($v(I_3(a)) = 100$). Da mesma maneira, caso o impacto da ação a no PVF2 seja corresponda ao nível neutro do descritor N_2 , então a sua avaliação parcial segundo o PVF2 é 0 pontos ($v(I_2(a)) = 0$). Por definição, na abordagem MACBETH, um nível de impacto da ação a que supera (não supera) um nível neutro num critério irá obter uma pontuação de valor positiva (negativa) e nível de impacto da ação a que superou o nível bom em um critério irá obter uma pontuação de valor que exceda 100 unidades.

Exemplo (continuação):

A Tabela 6 apresenta as pontuações parciais das impressoras, segundo cada um dos critérios.

Tabela 6: Avaliação local das impressoras segundo cada um dos critérios

Opções	Cor	Design	Velocidade
<i>PH</i>	100	75	- 80
<i>Conan</i>	50	120	50
<i>Espan</i>	0	0	50
<i>Sister</i>	100	- 20	25
<i>Nomark</i>	50	50	90
[Bom]	100	100	100
[Neutro]	0	0	0

Tendo construído o perfil de impacto para todas as ações potenciais e, por consequência, efetuado a avaliação parcial das ações, o processo de apoio à decisão pode evoluir para a avaliação global das alternativas. Conforme

apresentado no início do trabalho, a avaliação global das ações vai ser obtida através de um modelo de agregação aditiva, usando-se para isto as taxas de substituição, definidas anteriormente.

2.3.4. Modelo Aditivo de Agregação

A abordagem MACBETH adota o modelo de valor aditivo de agregação como alcance de referência que garante a coerência da ajuda prestada no âmbito de um processo multicritério de construção ("global") de preferências. Algumas das razões que levam a escolha de um modelo aditivo é o fato deste ser simples, bem conhecido e seus parâmetros técnicos têm uma clara e facilmente explicável interpretação. Além de o modelo permitir o tratamento do difícil problema de importância relativa dos critérios de maneira precisa.

Uma vez que o conjunto de critérios de avaliação $A_j, j = 1, \dots, n$ e os seus descritores de desempenho adequado $X_j, j = 1, \dots, n$ foram definidos, o perfil de desempenho de x pode ser escrito como (x_1, \dots, x_n) , onde x_j é um nível de desempenho específico de X_j . Bana e Costa et al (2008), apresenta o modelo de valor aditivo na forma:

$$v(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j)$$

com $\sum_{j=1}^n k_j = 1, k_j > 0$ e $\begin{cases} v_j(x_j^+) = 100 \\ v_j(x_j^0) = 0 \end{cases}$ para $j = 1, \dots, n$

onde v representa o valor da pontuação global de x que mede a sua atratividade global; $v_j, j = 1, \dots, n$ são funções de valor único-atributo; x_j^+ e $x_j^0, j = 1, \dots, n$ são, respectivamente, os níveis de desempenho bom e neutro definidos para cada descritor de desempenho $X_j, j = 1, \dots, n$, e $k_j, j = 1, \dots, n$ são constantes de escala (pesos relativos dos critérios).

Os “pesos” relativos dos critérios permitem transformar unidades de valor parcial em unidades de valor global. Por exemplo, se $k_j = 0,20$, cada unidade de valor parcial pelo critério j valerá 0,20 unidades de valor global.

Os “pesos” são, portanto, *taxas de substituição* entre unidades de valor, que operacionalizam a noção de *compensação*. Por exemplo, se $k_j = 0,30$ e $k_{j'} = 0,10$, a perda de uma unidade de valor parcial em j pode ser compensada pelo ganho de três unidades de valor parcial em j' (ver Figura 25, adaptado de Bana e Costa & Corrêa, 2000)

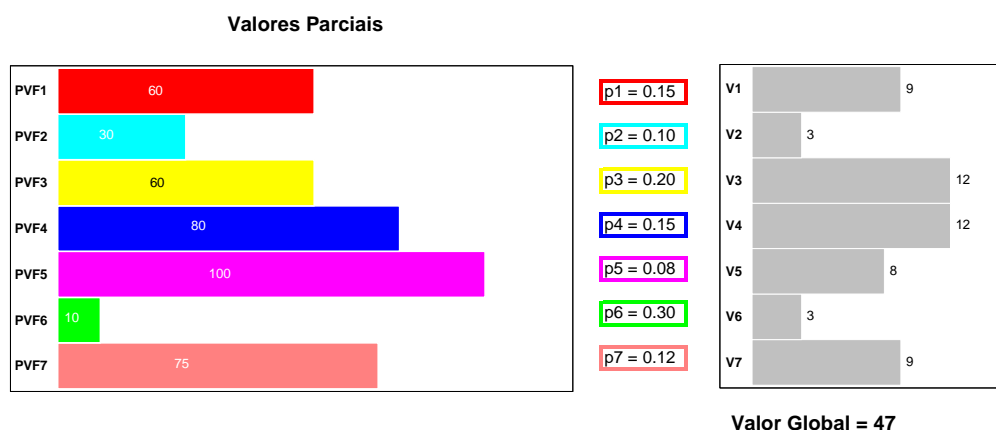


Figura 25: A lógica do modelo aditivo de agregação

O procedimento compensatório de agregação aditiva permite não a ordenação e termos de atratividade global, mas também a apreciação das diferenças relativas de atratividade global, isto é, quanto uma alternativa é melhor do que outra, desde que as escalas $v_j, j = 1, \dots, n$, tenham sido determinadas independentemente umas das outras (por isso, em termos matemáticos, as escalas $v_j, j = 1, \dots, n$, terão de ser escalas cardinais e então a escala global também o será). Assim, para além da propriedade ordinal da isolabilidade, os PVFs terão ainda que respeitar a propriedade mais exigente da independência no sentido das diferenças de atratividade, também designada por independência aditiva, por ter a ver diretamente com a exigência, requerida pela aditividade, de construir escalas cardinais de valor parcial nos critérios.

Exemplo (continuação):

A Figura 26 mostra na coluna “Global” a atratividade global das impressoras e dos perfis [bom] e [neutro] (classificados por ordem decrescente de atratividade). Nas três últimas colunas, as escalas v1, v2 e v3 são apresentadas. Os respectivos pesos dos critérios aparecem na última linha.

Opções	Global	Cor	Velocidade	Design
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00
Conan	78.00	50.00	50.00	120.00
Nomark	58.00	50.00	90.00	50.00
Ph	54.00	100.00	-80.00	75.00
Sister	37.00	100.00	25.00	-20.00
Espan	10.00	0.00	50.00	0.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.4000	0.2000	0.4000

Figura 26: Tabela de Valor.

Por fim, é importante ressaltar que a obtenção de um resultado global não encerra o processo de apoio multicritério à decisão. É essencial, de forma a garantir a validade das recomendações feitas pelo facilitador, que seja efetuada uma exaustiva análise de sensibilidade sobre os resultados, já que a construção do modelo baseia-se essencialmente em julgamentos subjetivos dos atores intervenientes no processo.

2.3.5. Análises de sensibilidade e de robustez

O processo de validação do modelo vai permitir que se conheça quais são os aspectos onde é necessário um aperfeiçoamento do processo decisório, melhorando assim a confiabilidade dos resultados. Essenciais na elaboração de recomendações, diversas análises de sensibilidade e de robustez dos resultados do modelo, assim construído, permitirão compreender o problema em profundidade, de ajustar o modelo e de formar convicções sobre as prioridades a estabelecer ou as opções a selecionar.

Em Bana e Costa (1992) são efetuadas análises de sensibilidade face a variações de pontuações parciais e dos coeficientes de ponderação. A primeira permite analisar a ordenação final das opções face a variações de pontuações

parciais em múltiplos cenários. Enquanto que, o tipo mais clássico da análise de sensibilidade nos pesos consiste em analisar as modificações que possam ocorrer na ordenação global das opções quando se faz variar o coeficiente de ponderação de um dado critério, mantendo a proporção entre os pesos dos demais. A análise de sensibilidade no peso de um critério permite dimensionar como uma alteração de qualquer dos pesos (dentro do intervalo permitido), afetaria os resultados globais do modelo.

Exemplo (continuação)

A Figura 27 apresenta a análise de sensibilidade no peso do critério “Velocidade”. Cada linha do gráfico mostra a variação da pontuação global da opção correspondente quando o peso do critério varia entre 0% a 100%. A linha vermelha vertical no gráfico representa o peso atual do critério em análise (20.00 no exemplo da Maria).

Note que quando o peso de “Velocidade” aumenta, a pontuação global de *Nomark* (no eixo vertical) aumenta e a pontuação global de *Conan* diminui; a pontuação global de *Nomark* seria maior do que a pontuação global de *Conan* (e superior a 68,7) se o peso de Velocidade fosse maior que 46,7.

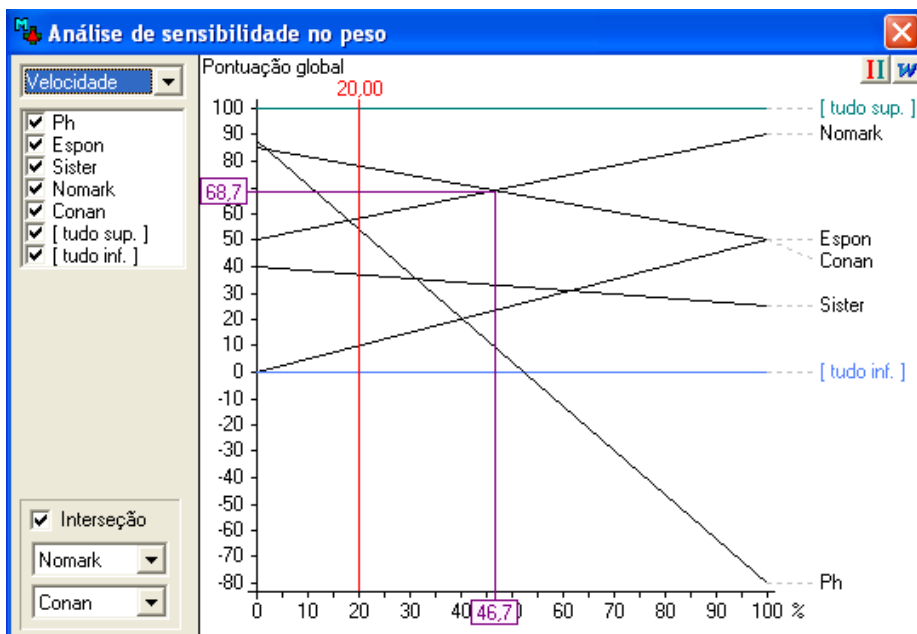


Figura 27: Exemplo de análise de sensibilidade sobre o peso de "Velocidade"

A tomada de decisão envolve, com frequência, informação escassa, imprecisa ou incerta. Pode ser útil, por isso, analisar que conclusões robustas se podem extrair do modelo para níveis variados de escassez, imprecisão ou incerteza na informação. Sendo assim, para além da análise de sensibilidade clássica, é muito interessante analisar a “robustez” dos resultados da aplicação do modelo.

A análise de robustez baseia-se no conceito de *dominância aditiva* (Bana e Costa, 1992); diz-se que uma opção *domina* outra opção se for pelo menos tão atrativa quanto a outra em todos os critérios e se for mais atrativa do que outra em pelo menos um dos critérios (situação de “dominância”). Enquanto que, uma opção *domina aditivamente* outra opção se, para um determinado conjunto de restrições na informação, resultar sempre globalmente mais atrativa do que a outra opção da aplicação do modelo aditivo (situação de “dominância aditiva”).

2.3.6. Sistema de apoio à decisão M-MACBETH

Como vimos anteriormente, a metodologia MACBETH é uma abordagem interativa que requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade. Esses julgamentos expressos pelo decisor são inseridos no sistema de apoio à decisão M-MACBETH (www.m-macbeth.com), um software aplicativo que implementa a abordagem MACBETH.

M-MACBETH permite a estruturação de árvores de valor, a construção de descritores de critérios, o desenvolvimento de funções de valor, a ponderação de critérios, a pontuação de opções contra critérios, além de extensas análises de sensibilidade e robustez.

À medida que os julgamentos qualitativos são introduzidos em M-MACBETH, o software verifica automaticamente a sua consistência e oferece sugestões para resolver eventuais inconsistências. Depois, o processo MACBETH de apoio à decisão evolui para a construção de um modelo quantitativo de avaliação. A partir dos julgamentos do avaliador e utilizando as funcionalidades do software, uma escala de pontuações em cada critério e pesos relativos para os critérios são gradualmente sugeridos e discutidos. Em seguida, uma pontuação global é calculada para cada opção, fazendo a soma ponderada

das suas pontuações nos múltiplos critérios. Essa pontuação global reflete a atratividade da opção respectiva no conjunto de todos os critérios. O software também nos permite fazer diversas análises de sensibilidade e robustez dos resultados do modelo, assim construído, que permitem compreender o problema em profundidade, ajustar o modelo e formar convicções sobre as prioridades a estabelecer ou as opções a selecionar, em contextos de tomada de decisão individual ou em grupo. M-MACBETH oferece numerosas representações gráficas que facilitam a elaboração de um relatório justificando recomendações elaboradas.

Um breve levantamento histórico da investigação MACBETH é oferecido na próxima seção e mostra que, em um nível técnico, MACBETH tem evoluído através do curso da pesquisa teórica conduzida sobre ele, e também através de numerosas aplicações práticas.

2.3.7. Breve Histórico da investigação MACBETH

A investigação inicial que deu origem a abordagem MACBETH foi conduzida por C.A. Bana e Costa e J.-C. Vansnick, no início dos anos 90. A equipe expandiu nos anos seguintes, quando foi aderido por J.-M. De Corte. Segundo Bana e Costa (2003) a abordagem MACBETH surgiu como uma resposta à pergunta: como construir um intervalo de escala de preferências sobre um conjunto de opções sem forçar avaliadores a produzirem representações numéricas diretas de suas preferências? Que deu origem ao procedimento de questionamento MACBETH, que compara dois elementos de cada vez solicitando somente uma avaliação qualitativa sobre a diferença de atratividade entre os elementos. De acordo com o método, as seis categorias semânticas "muito fraca", "fraca", "moderada", "forte", "muito forte" ou "extrema" deverão ser representadas por intervalos de números reais não-sobrepostos (disjuntos) cujos limites devem ser determinados juntamente com as pontuações de valor numérico para as opções. Evidentemente, para cada conjunto de julgamentos particular, deverá começar testando anteriormente a existência de tais intervalos.

Dessa forma, a investigação foi então realizada para encontrar uma resposta de programação matemática para este problema, o que deu origem à formulação

de uma cadeia de quatro programas lineares concebidos para serem usados na prática. Estes programas, implementados em GAMS, foram utilizados nas primeiras aplicações de MACBETH como uma ferramenta de apoio à decisão para derivar pontuações de valor e pesos no âmbito de um modelo de agregação aditivo. Entretanto, a investigação teórica conduzida, e inicialmente apresentada em 1994 na XI Conferência Internacional sobre MCDM, demonstrou a equivalência da abordagem por limiares e a abordagem por condições de medição.

Em 1997, a primeira versão do software MACBETH foi desenvolvida por J.-M. De Corte e a principal preocupação principal por trás do desenvolvimento do primeiro software MACBETH foi a interatividade: ele permitia que julgamentos fossem codificados de uma forma usuária amigável (algo inexistente na implementação inicial GAMS), e oferecia uma representação gráfica da escala de valor MACBETH, permitindo o ajuste direto da pontuação de valor de uma opção dentro de um intervalo de variação respeitando as condições de medição relacionadas com a matriz de julgamentos. Além disso, no surgimento de uma inconsistência, este primeiro software informava ao usuário, de uma maneira visual, as possíveis alterações que tornariam a matriz de julgamentos consistente, facilitando muito a interatividade na revisão dos julgamentos.

Mas, mesmo sendo utilizado com sucesso, na prática, este primeiro software MACBETH impôs várias limitações ao desenvolvimento prático de um processo de construção de um modelo eficiente, interativo e de aprendizagem. Algumas destas limitações são apresentadas em Bana e Costa (2003):

- 1) a determinação das sugestões ainda era heurística e não garantia o número mínimo de mudanças necessárias para assegurar a consistência;
- 2) não era possível para o avaliador hesitar entre várias categorias semânticas quando expressava julgamentos;
- 3) o avaliador era forçado a dar primeiro todos os julgamentos antes de executar qualquer processo e, conseqüentemente, a inconsistência dos julgamentos só poderia ser detectada para uma matriz de julgamentos completa e só então as sugestões de mudanças poderiam ser discutidas.

Em 1999, os inconvenientes do primeiro software MACBETH levou os criadores a tomar a decisão de abandoná-lo e desenvolver um software

completamente novo, agora, de fato, um sistema de apoio à decisão, M-MACBETH (<http://www.m-macbeth.com>): o primeiro "M" do nome dá ênfase a sua capacidade de lidar com problemas multicritérios. Sucessivamente melhorado, M-MACBETH poderia tirar vantagem dos resultados das pesquisas teóricas realizadas, permitindo que a inconsistência fosse tratada de uma forma matemática sólida. Este foi o ponto de virada no caminho para encontrar uma formulação mais interativa. Em primeiro lugar, permitindo trabalhar com matrizes incompletas e possibilitando a distinção entre incoerência e inconsistência. Em seguida, deixando esta distinção em dois casos, aplicando a detecção automática de "inconsistência", ainda para matrizes incompletas e a origem da inconsistência poderia agora ser facilmente encontrada e explicada ao avaliador.

No que diz respeito à fase de estruturação do processo de apoio à decisão, M-MACBETH oferece ferramentas para criar facilmente uma árvore de valor e descritores, para definir uma tabela de impacto, para mostrar perfis de valor de ações, etc. Também se começou a trabalhar em torno do conceito de "robustez", e a primeira "tabela de comparações global" apareceu em 2000. Em paralelo, a utilização extensiva de M-MACBETH em trabalhos de consultoria em conferência de decisão, levou à adição, em 2001, de várias ferramentas úteis relativas à análises de sensibilidade.

Em 2003, a possibilidade de lidar com imprecisão (incerteza) acerca dos impactos de opções, quer de descritores qualitativos ou quantitativos incorporando a qualquer momento níveis de referência para um critério representando graficamente as comparações de ações potenciais em qualquer dos dois grupos de critérios foi adicionado ao software M-MACBETH. Também em 2003, uma versão do software MACBETH limitada à pontuação e ponderação foi incorporada ao pacote de software HIVIEW3.

MACBETH tem evoluído através do curso da pesquisa teórica conduzida sobre ele, e também através de numerosas aplicações práticas em vários contextos de decisão. A seguir, são apresentadas algumas aplicações práticas da abordagem MACBETH:

- Desenvolvimento de modelos para avaliação de propostas em uma Companhia Portuguesa de Transmissão Elétrica
- Construção de um índice da qualidade total para a Companhia de Gás de

Lisboa

- Avaliação de propostas em concursos públicos
- Priorização de pontes e túneis na redução de risco de terremoto em Lisboa
- Avaliações em transportes
- Apoio na escolha da carreira profissional
- Construção de um índice de avaliação de desempenho institucional
- Elaboração de um índice de capacidade empreendedora em empresas de base tecnológica
- Geração de um índice de Qualidade de Vida na Organização empresarial (QVO)
- Construção de um índice multicritério de bem estar social rural em um município da região Amazônica
- Proposição de um índice de produção para bibliotecas
- Avaliação de incidências ambientais de medidas de controlo de cheias em Ribeira do Livramento
- Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social
- Avaliação de projetos mecânicos aerodesign
- Resolução de conflitos em projetos de software
- Avaliação de desempenho da gestão centralizada de estoque da empresa Petrobrás
- Análise da presença e/ou visibilidade da Universidade Federal Fluminense
- Uso de Metodologias Multicritério na Avaliação de Municípios do Paraná com Base no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- Atribuição de recursos para a construção de novas estradas intermunicipais na Região de Lisboa
- Concepção de novas ligações ferroviárias
- Avaliação de estratégias militares
- Análise política e alocação de recursos
- Desenvolvimento de Planos Estratégicos
- Avaliação da capacidade competitiva de empresas têxteis
- Modelagem quantitativa de *credit scoring*
- Avaliação das incidências ambientais de medidas de controle de cheias
- Construção da ‘matriz de custos’ de um modelo de afetação para gestão de stands de aeronaves