



## M-MACBETH COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO SISTÊMICO, INTEGRADO E PARTICIPATIVO: ESTUDO DE CASO

### **Valquiria Melo Souza Correia<sup>(1)</sup>**

Administradora de Empresas pela Unice – Superior (UNICE), Assistente Social, Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e Tecnóloga em Gestão Ambiental pela Estácio de Sá. Mestre em Logística e Pesquisa Operacional (UFC). Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

### **Marisete Dantas de Aquino<sup>(2)</sup>**

Doutora em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela *École des Hautes Études en Sciences Sociales*, Paris, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC).

### **Antonio Clecio Fontelles Thomaz<sup>(3)</sup>**

Graduado em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (1969), mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1973) e doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986). Pós-Doutorado na Universidade *Joseph Fourier - Grenoble* França em 1995. Atualmente é Prof. Titular Aposentado da Universidade Federal do Ceará e Prof. adjunto da Universidade Estadual do Ceará.

### **Marcílio Luís Viana Correia<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Assistente I do Departamento Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Oito de Setembro, 205 – Bairro Varjota – Fortaleza - CE - CEP: 60.175-210 - Brasil - Tel: (84) 99855-4382 - e-mail: valquiria@ufersa.edu.br

## **RESUMO**

A sociedade do Terceiro Milênio tem sido cada vez mais desafiada em preservar seus recursos naturais exigindo uma nova postura na arte de viver, particularmente no tratamento de resíduos sólidos, pois estes têm configurado uma das maiores e mais complexas dificuldades de tomada de decisão. Visto que corresponde a recursos finitos com objetivos, extremamente, complexos que na realidade não perpetua em fácil quantificação. Isto porque, todo esse processo de apoio à tomada de decisão está, intrinsecamente, envolvido na esfera interdisciplinar, envolvendo uma abordagem genuinamente sistêmica. O artigo apresenta um processo de avaliação de tomadores de decisão no município do Crato. Toda a avaliação foi arquitetada em 26 critérios gerais, a partir de sete áreas de estudo. O trabalho mostra que os tomadores de decisão possuem divergências com relação aos critérios levantados o que exige providências relevantes, para que se possa construir um modelo de gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no município do Crato, que venha contribuir para o planejamento e a tomada de decisões mais acertadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Gerenciamento, M-Macbeth

## **INTRODUÇÃO**

Os resíduos sólidos urbanos são considerados um dos resíduos de difícil gerenciamento, visto que sua composição é oriunda de resíduos bastante heterogêneos, e dependendo do local de origem, assim como dos aspectos sociais e econômicos, além dos hábitos da sociedade tornando-o muito variado. A tendência é ter uma solução, extremamente, complexa ao que concerne a tomada de decisão. Todavia, as soluções são imprescindíveis e devem ser ambientalmente adequadas, economicamente sustentáveis e politicamente corretas, como aplicáveis para a sociedade. A maioria dos municípios brasileiros, secretaria de saúde pública, infraestrutura, meio ambiente buscam cuidar do gerenciamento de resíduos sólidos. No entanto, os sistemas de gerenciamento efetivos são muito raros, o que se observa mais da metade dos resíduos sólidos gerados permanece desacompanhada (Jha, 2001). Logo, a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos em países em desenvolvimento, como a Brasil, pode ser atribuída aos recursos limitados, falta de planejamento, boa governança, escassez de estudos e conhecimentos técnicos.



Com um maior número de pessoas nos centros urbanos e o crescimento do consumo a geração de resíduos sólidos aumenta na mesma proporção, ao passo que os locais de tratamento e destinação final não conseguem absorver todo consumo proporcionando ineficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

No entanto, esse cenário é muito negligenciado devido as problemáticas que os municípios do Brasil tem enfrentado, ou seja, praticamente todo tipo de material que se gera ou não impacto ambiental é enviado aos lixões ou aterros sanitários. Logo, o envio de resíduos domésticos e industriais sem tratamento adequado tem como destino o lixão a céu aberto na maioria dos municípios brasileiros, representando sérios problemas a saúde pública, ao desenvolvimento econômico e ao meio ambiente.

Nessa perspectiva, a sociedade se defronta com o desafio do equacionamento entre geração de resíduos e disposição final ambientalmente segura. De modo que esse equilíbrio ocorra como resposta ao crescimento da produção e de práticas inadequadas de resíduos sólidos, assim como a falta de áreas de disposição final presente na maioria das cidades.

Os indivíduos, frequentemente, são confrontados com situações pessoais, profissionais e organizacionais, que lhes impõem a tomar algum tipo de decisão. Isso faz com que muitas decisões sejam complexas e que envolvam múltiplos objetivos, logo não existirá uma alternativa dominante que seja melhor do que todas as alternativas possíveis para todos os objetivos (Keeney e Raiffa, 1976; Guglielmetti et al., 2005), proporcionando à necessidade de se estruturar um algoritmo, de modo a permitir o confronto de vários pontos de vista, muitas vezes contraditórios (BANA E COSTA, 1993). Nesse aspecto, significa que a tomada de decisão está relacionada à pluralidade de pontos de vista, que podem ser definidos como critérios (FIGUEIRA et al., 2005).

Diante disso a teoria da análise de decisão (Decision Analysis) apresenta uma decisão como uma escolha entre as alternativas que proporcionarão futuros incertos, para a qual existem preferências.

Para Roy (1990), a metodologia de multicritérios de decisão utiliza-se da visão prescritiva e construtiva, para aproximar-se dos problemas, com uma visão descritiva (o mundo como ele se apresenta) e normativa (o mundo como processos e com o uso de fórmulas matemáticas).

Para Gomes et al. (2002, p. 70) o “apoio multicritério à decisão busca estabelecer uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios”, assim deve levar em consideração: que os processos decisórios são complexos e incluem diversos atores; que cada ator tem a sua subjetividade; verificar os limites da objetividade e considerar as subjetividades dos atores envolvidos; e que o problema não está definido e nem estruturado.

Nessa perspectiva, a metodologia estabelece algumas vantagens que se baseiam na operacionalidade e julgamento pessoal, e podem ser destacadas como:

- a) facilitar o uso de não-especialistas, pois quando transformada em um programa de computador que seja o mais amigável possível com o usuário e disponha de recursos gráficos-visuais;
- b) estabelecer-se em um método lógico e transparente;
- c) exercer liberdade de incerteza para interpretações dos dados de entrada;
- d) inserir tanto critérios qualitativos como quantitativos;
- e) exercer julgamentos de valor em escalas cardinais ou verbais;
- f) lidar com alternativas que sejam independentes uma das outras, assim como dependentes.

Com isso, Gomes et al. (2002, p.73) esclarece que “tomar uma decisão é fazer uma escolha dentro do conjunto de alternativas factíveis (...) a eficiência na tomada de decisão consiste na escolha da alternativa que (...) ofereça o(s) melhor(es) resultado(s)”.



Uma maneira eficiente de construir respostas aos problemas relacionados aos resíduos sólidos tem-se como atores os empresários com interesses explícitos e racionais, os dos ambientalistas, gestores municipais e sociedade em geral com interesses difusos.

Frequentemente os indivíduos são confrontados com situações pessoais, profissionais e organizacionais, que lhes impõem a tomar algum tipo de decisão. Isso faz com que muitas decisões sejam complexas e que envolvem múltiplos objetivos, logo não existirá uma alternativa dominante que seja melhor do que todas as alternativas possíveis para todos os objetivos (Keeney e Raiffa, 1976; Guglielmetti et al., 2005), proporcionando à necessidade de se estruturar um algoritmo, de modo a permitir o confronto de vários pontos de vista, muitas vezes contraditórios (BANA E COSTA, 1993). Nesse aspecto, significa que a tomada de decisão está relacionada à pluralidade de pontos de vista, que podem ser definidos como critérios (FIGUEIRA et al., 2005).

Para Roy (1990), a metodologia de multicritérios de decisão utiliza-se da visão prescritiva e construtiva, para aproximar-se dos problemas, com uma visão descritiva (o mundo como ele se apresenta) e normativa (o mundo como processos e com o uso de fórmulas matemáticas).

Para Gomes et al. (2002, p. 70) o “apoio multicritério à decisão busca estabelecer uma relação de preferências (subjettivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios”, assim deve ser levando em consideração: que os processos decisórios são complexos e incluem diversos atores; que cada ator tem a sua subjetividade; verificar os limites da objetividade e considerar as subjetividades dos atores envolvidos; e que o problema não está definido e nem estruturado.

O método multicritério de apoio a decisão busca fazer sua associação com o seu elemento original, a Pesquisa Operacional. De acordo com Roy e Vanderpooten (1996) trata-se de uma ferramenta importante de tomada de decisão, utilizada inicialmente na Segunda Guerra Mundial, no entanto tornou-se um instrumento de apoio à decisão empresarial, tendo como propósito soluções precisas que direcionam os tomadores de decisão para uma determinada ação, que tem como pontos de partida pressupostos definidos: Estruturação dos critérios; Avaliação e ponderação dos critérios; Avaliação das alternativas e Análise MCDA: Estudo do método M-Macbeth.

O método Macbeth (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) é um método de apoio à decisão desenvolvido na década de 1990, que admite avaliar opções levando em consideração múltiplos critérios. É um método que se diferencia de outros métodos multicritérios por se fundamentar na ponderação dos critérios e na avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade. Através do método pode realizar a comparação de dados qualitativos através de um procedimento não numérico, buscando quantificar a atratividade relativa das opções.

O Macbeth (Bana Consulting, 2005) é um sistema multicritério de apoio à decisão, concebido para ser usado por um consultor (facilitado ou analista de decisão), seguindo o princípio construtivista segundo o qual “o problema e a solução pertencem ao decisor e não ao consultor” (Schein, 1999). É um processo sócio-técnico com várias fases (Figura 1), que “combina elementos técnicos da análise multicritério com aspectos sociais de decision conferencing” (Phillips e Bana e Costa, 2007, apud COSTA, MEZ e OLIVEIRA, 2013).

Quanto a escala de valores, para que sejam atribuídas notas às alternativas de cada critério, o software faz uso do módulo scores, comparando par a par, cada alternativa, e por programação linear é propõe uma escala de notas, analisando também os intervalos de variação sem tornar o problema inconsistente. Para atribuir pesos e para construção do critério-síntese, é utilizado o módulo weights do M-Macbeth. O M-Macbeth faz a comparação dos critérios de forma indireta e considerando fictícias as alternativas dos critérios (SOARES DE MELLO et al, 2003).

Essa metodologia de apoio à tomada de decisão avalia opções de considerando múltiplos critérios sendo: a) capaz de transformar julgamentos qualitativos em quantitativos; b) verificar automaticamente a consistência dos julgamentos, proporcionando sugestões para solucionar eventuais inconsistências; c) o software é de fácil uso e de fácil explicação para o decisor, incluindo, nesse caso, a explicação da base axiomática; d) permite explicitar as preferências do decisor.

Neste estudo, é desenvolvido através de um sistema de apoio à decisão em que se tem como objetivo analisar os construídos 26 critérios de avaliação, agrupados em sete áreas de interesse: ambiental; social; econômicos; político/regulatório; planejamento/institucional; eco-inovação e tecnologias ambientais e estruturas de apoio. O modelo é importante, visto que apresenta viabilidade, reaplicação e pertinência para outras avaliações de cunho



institucional, comercial e qualificação da pesquisa, apresentando com as macros fases da metodologia multicritério, mas sem descartar a opinião de dos atuais tomadores de decisão no assunto.

## **METODOLOGIA**

O método adotado na pesquisa, diante do caráter qualitativo da pesquisa, foi o Macbeth desenvolvido por Bana e Costa, visto que proporciona adicionar diferentes critérios de avaliação em um único critério de composição por meio da atribuição de pesos em múltiplos critérios apresentados, priorizando a opinião do tomador de decisão.

Diante disso, a pesquisa buscou através da metodologia de apoio à decisão por multicritérios, a ferramenta M-Macbeth. O modelo está estruturado com base na metodologia multicritério, que tem abordagem de apoio à decisão descrita por ENSSLIN et al. (2000). Em que as escalas estão associadas aos níveis de impacto e taxas de substituição dos critérios que para configuração são substituídas pelo método Macbeth desenvolvido por Bana-e-Costa e Vansnick (1995). O software utilizado para operacionalizar o método foi M-MACBETH®, versão 2.5.0 apenas para o uso acadêmico (BANA-e-COSTA et al., 2018).

A escolha da problemática, segundo Ensslin (2001), se deu através do processo de estruturação do modelo multicritério e na definição dos critérios a serem trabalhados. Os tipos de problemáticas que definem o resultado esperado são: escolha que tem como propósito esclarecer a decisão diante da seleção de um conjunto restrito, que apresenta as melhores ações e que definem a escolha de uma única alternativa; classificação esse tipo de problemática está ligado na busca pela organização que é feita pela triagem de ações possíveis de categorias distintas, mas definidas; ordenação consiste no agrupamento de ações que acontecem por ordem de preferência; descrição esclarece as ações potenciais que acontecem pelas decisões e suas consequências (GOMES et al., 2009).

O modelo desenvolvido na pesquisa aplicará as problemáticas desenvolvidas por Ensslin (2001) quanto as etapas utilizadas nessa metodologia para a construção do modelo foram: a) identificação dos elementos primários de avaliação (EPA); b) construção da árvores de pontos de vista fundamentais (PVF), ou seja, os critérios; c) construção dos descritores para os níveis de impacto dos PVF; d) obtenção de funções de valor para os descritores; e) obtenção das taxas de substituição, pesos das escalas, dos PVF.

Quanto a metodologia proposta apresenta o estado real dos RSU, a tecnologia existente e as operações cotidianos de coleta e tratamento dos RSU. Visto que em situações que envolvem diferentes fatores conflitantes para a tomada de decisão, a aplicação da metodologia de multicritério no processo de tomada de decisão é a alternativa mais adequada para o gestor.

A população da pesquisa de campo engloba as partes interessadas no sistema de gerenciamento de RSU do Município do Crato, no Estado do Ceará. Trata-se de uma amostragem não-probabilística, ou seja, com amostras intencionais na qual o julgamento do pesquisador foi utilizado para selecionar os membros da população que são especialistas em gestão de resíduos sólidos (SILVA E MENEZES, 2005).

Para o levantamento de dados e informações utilizou-se fontes primárias e fontes secundárias. Os dados primários foram levantados através de dois questionários e uma matriz de levantamento de dados (MLD). O questionário 01 serviu de roteiro para entrevista em que cada informante foi convidado a mencionar fatores essenciais e críticos dos RSU, a escolha dos entrevistados foi por amostra definida pela qualidade do informante, por facilidade de acesso, pela experiência na área, pela identificação e conhecimento na região do Cariri, o conteúdo das respostas foi transcrito e serviu de base para a construção do questionário 02 que contém 11 questões abertas foi aplicado na pesquisa de campo, para sete membros do sistema de profissionais atuantes em RSU no município do Crato.

As informações com os especialistas foram coletadas em entrevistas iniciais, individualmente, onde ocorreram em aproximadamente uma hora de duração. Em outro momento foi aplicado um questionário aos tomadores de decisão, onde se apresentaram algumas perguntas, com o propósito de avaliar a importância, ou não, dos critérios pré-definidos na MLD e sobre os níveis utilizados para estabelecer os pesos/prioridades. A MLD pode ser considerada como base de estruturação e forneceu os elementos primários de avaliação (EPA's) para a



definição dos pontos de vistas fundamentais (PVF's) e de seus níveis de impacto, segundo Ensslin (2001) onde os critérios de avaliação foram considerados e obedeceram as propriedades de funcionalidade.

Nessa etapa os especialistas compararam todos os critérios par a par com o apoio do nível de performance do software M-Macbeth.

Na MLD onde foram colhidas no município informações demográficas, quantidade de resíduos gerados, composição física, características, contenedores individuais, receptáculos comunitários, cobertura do serviço, frequência de coleta, queixas com relação ao transporte e coleta, indicadores de inputs dos recursos, indicadores de eficiência, desempenho do serviço, input de recursos, eficiência do serviço.

Os entrevistados do primeiro e segundo questionário foram escolhidos através de julgamento subjetivo do pesquisador com sugestões de especialistas de centros de pesquisa da área de RSU. Para a formatação da Matriz de Levantamento de Dados (MLD) a obtenção dos dados foi oriunda de sites oficiais, documentos do Ministério Público Federal (MPF), documentos da secretaria de infraestrutura, gestão e meio-ambiente dos municípios, associações de catadores e/ou recicladores, depósitos de reciclagem, indústria de processamento de reciclagem de plásticos, empresas particulares de coleta de resíduos.

Na tabulação e análise de dados foi usado computador notebook com o programa Microsoft Excel©2018 para dar suporte à organização dos dados da MLD e Software M-Macbeth® para análise dos dados, criação de tabelas, quadros, gráficos e figuras.

Para a análise dos dados foi necessário ter construído um modelo Macbeth, de modo que os pesos e pontuações definidos nas etapas anteriores são inseridos no software avaliando todas as alternativas de forma global. Desse modo, o resultado final é julgado através da análise de sensibilidade no peso de um critério e também a interatividade de M-Macbeth. Além da análise de robustez feita com o auxílio do software.

## **RESULTADOS**

A construção da estrutura hierárquica é a etapa em que se apresenta a árvore de decisão do software M-Macbeth, onde os PVF's são os aspectos essenciais apontados pelos entrevistados no processo de construção do modelo de decisão. Os níveis de impacto da hierarquia são alternativas avaliadas e podem ser de ordem qualitativa ou quantitativa.

A estrutura arborescente organiza os critérios de forma hierárquica, de tal modo que separa áreas ou grupos comuns de interesse ou mesmo pertinência. De modo que o objetivo geral é construir um modelo de tomada de decisão que possa levar ao gestor municipal os elementos de como proceder sobre a problemática dos RSU definido a partir dos principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos e, logo após, os critérios de avaliação utilizados são apresentados.

A partir desse objetivo são definidas e descritas características dos critérios relacionadas aos RSU do município do Crato.

Os critérios apresentados são baseados nas atividades do grupo 1 de entrevistados, em práticas presentes no Brasil e no mundo e de modelos de gerenciamento dos RSU. Por fim, a árvore do modelo de decisão é criada, de modo que os critérios foram selecionados, também a partir da pesquisa de outros trabalhos realizados no âmbito de gestão de resíduos sólidos urbanos, e correspondem aos principais aspectos a serem avaliados e melhorados nos municípios. Assim, as questões (critérios de avaliação) foram fundamentadas com base e se considerou necessária a elaboração de uma estrutura que contemplasse os fatores propostos (Figura XXX). As áreas são ambiental, social, econômico, político e regulatório que foram escolhidos com base em Chang e Pires (2015); Lima et. al (2014); NBR 13.896/97; Manual do IBAM; Abelpre (2017); IBGE (2017); PNUD (2016); Brasil (2010a), Planejamento com base em US EPA (2002) e Brasil (2010a, b e c), Institucional foi escolhido ISWA e ABRELPE (2017) e para o critério eco-inovação e tecnologias com base na Agenda 21; Brasil (2010a).

Dentre os vários critérios apontados por esses autores, foram escolhidos 26 que se julgou serem eficientes para a construção do modelo de gestão dos RSU. Os critérios e a descrição dos níveis de impacto para cada critério



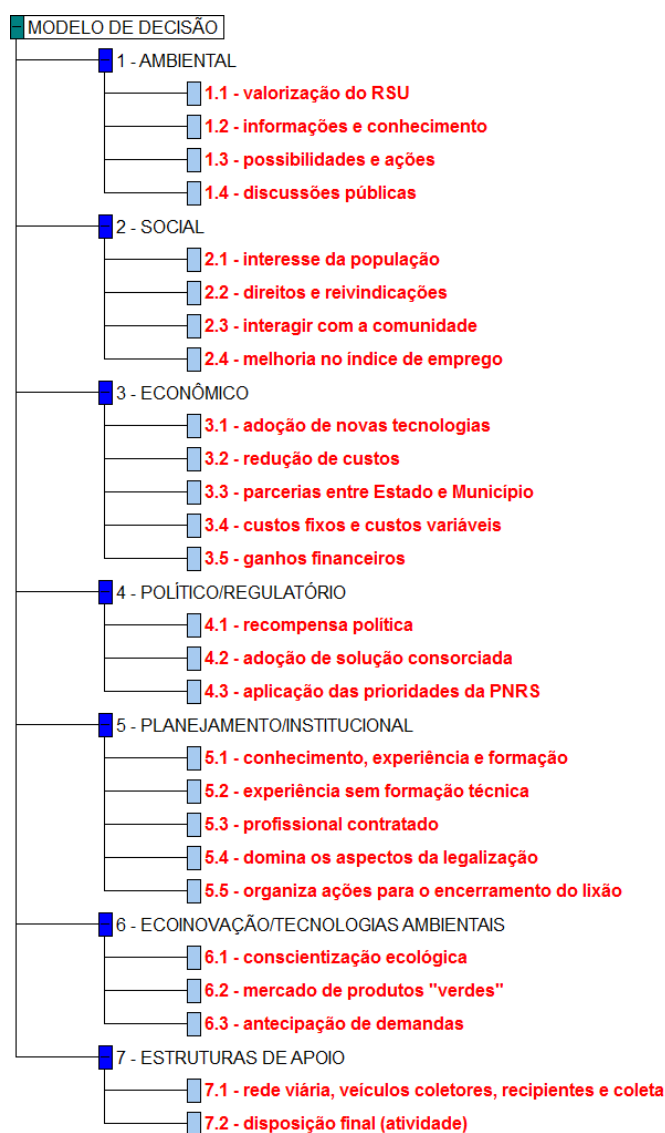


foram construídos de modo a contribuir para a tomada de decisão do gestor municipal, tendo como subsídio as alternativas existentes.

A construção formal do modelo de decisão se deu a partir de um conjunto de informações oriundas das visitas de campo, entrevistas, questionários e da elaboração da Matriz de Levantamento de Dados (MLD).

Os critérios e os descritores de impacto foram construídos com o propósito de avaliar o gerenciamento sistêmico, integrado e participativo dos resíduos sólidos urbanos no município do Crato, considerando as alternativas existentes.

A árvore de valor da Figura 1 mostra os critérios e descritores de impactos introduzidas e a serem avaliadas e sua construção é importante para se iniciar o processo de determinação das funções de valor e dos pesos dos critérios, que num primeiro momento é validada, pelos dados apresentados na entrevista e no questionário e depois decisão da pesquisadora.

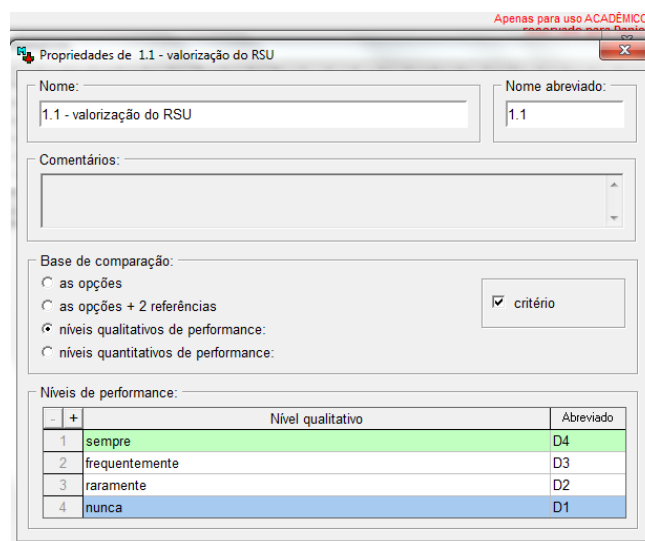


**Figura 1: Árvore de valor com os critérios e descritores de impactos introduzidos e a serem avaliadas pelo software M-Macbeth**

Quanto aos descritores de impacto foram trabalhados os descritos qualitativo ou quantitativo, visto que a proposta da pesquisa é construir um modelo de gestão dos RSU no município do Crato, que possa contribuir para o planejamento e a tomada de decisões.



Para cada nível de um descritor de impacto foram quatro níveis de referência de performance intrínseco, ou seja, um nível nunca, raramente, frequentemente e sempre atratividade. A importância desses níveis é proporcionar facilidade na avaliação e comparação intercritérios.



**Figura 2: Introdução dos níveis de performance do critério de interesse da população, no software M-Macbeth**

Para inserir a performance das alternativas (Figura 2) seleciona na guia opções do software Tabela de Performance e na tabela mesmo pressiona a célula que corresponde a performance de uma alternativa num determinado critério que será introduzido no modelo.

A descrição das áreas de interesse que foram tratadas no modelo é essencial para a tomada de decisão do modelo Quadro 1.

**Quadro 1: Descrição das áreas de interesse que formam do modelo**

Ambiental	É uma visão do aspecto ambiental, considerando a valorização dos RSU, conhecimento, ações, possibilidades e discussões públicas.
Social	Olhar da sociedade frente ao problema dos RSU.
Econômico	Corresponde aos custos e ganhos relacionados co RSU.
Político/Regulatório	Tem como visão as prioridades da PNRS, adoção de soluções e recompensas políticas.
Planejamento/Institucional	É visão que o tomador de decisão tem a respeito do conhecimento, habilidades e atitudes relacionadas ao RSU.
Ecoinovação/Tecnologias Ambientais	Olhar para uma consciência verde e uma antecipação das demandas de um “novo” mercado.
Estruturas de Apoio	O funcionamento e a viabilidade das ações dos RSU no município.

Quanto aos critérios definidos para o estudo são descritos pelos indicadores na Tabela de Julgamentos dos valores das variáveis da Matriz, que foi construída a partir de informações de pesquisas realizadas de cada opção possível. De modo que a descrição dos critérios que foram incluídos ao modelo de gerenciamento de RSU no município do Crato



## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os descritores de impacto de todos os critérios foram Quadro 2:

**Quadro 2: Descrição de impacto dos critérios**

D1	Nunca	Quando a decisão não acontece
D2	Raramente	Quando a decisão possui acontecimentos mínimos
D3	Frequentemente	Quando ocorre de forma normativa a decisão
D4	Sempre	Quando a decisão é acontecimento presente

Os nomes descritos na tabela de performance correspondem aos nomes fictícios dos entrevistados e dos critérios que foram escolhidos no momento em que se construía a árvore de decisão, ou seja, os nós na árvore de valor e as opções, no software M-Macbeth. Sendo que na coluna opções da vertical correspondem aos gestores entrevistados e na horizontal as respostas de cada decisor. De modo que por meio da função de valor, converteram-se as performances das opções de pontuações obtidas pelas respostas do questionário, descritas de forma qualitativa. A Figura 3 mostra as performances dos sete gestores entrevistados, definidas pela associação a cada um deles de um nível de performance de cada descritor de cada critério.

Opções	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2
G1	D3	D4	D4	D4	D4	D4	D3	D3	D3	D4	D3	D2	D3	D3	D3	D4	D3	D3	D1	D4	D3	D4	D4	D4	D4	D3
G2	D1	D3	D4	D4	D4	D4	D4	D3	D4	D2	D3	D4	D2	D4	D4	D4	D4	D4	D1	D4	D4	D4	D4	D3	D4	D1
G3	D2	D2	D2	D3	D3	D4	D3	D2	D4	D3	D3	D4	D4	D2	D3	D4	D4	D1	D3	D4	D4	D4	D4	D4	D3	D2
G4	D4	D4	D4	D3	D2	D4	D4	D4	D4	D2	D2	D1	D4	D3	D1	D2	D4	D1	D1	D4	D4	D4	D1	D4	D4	D4
G5	D2	D3	D4	D3	D2	D3	D3	D3	D3	D2	D1	D1	D4	D2	D3	D4	D2	D3	D1	D3	D4	D4	D3	D3	D4	D3
G6	D3	D3	D4	D3	D2	D2	D3	D3	D3	D4	D2	D4	D4	D4	D2	D3	D1	D3	D2	D4	D3	D4	D3	D3	D3	D2
G7	D4	D4	D3	D3	D4	D4	D4	D4	D3	D4	D4	D4	D1	D3	D2	D3	D1	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4

**Figura 3: Tabela de Performances**

Para cada critério foi determinada a influência na matriz que a partir da classificação para nível, conforme as informações obtidas e coletadas através do questionário. De modo que a ordenação das opções ou níveis de performance num critério (Figura 4), é possível com base nas comparações definidas.

	D4	D3	D2	D1	Escala atual
D4	nula	moderada	mt. forte	extrema	1.00
D3		nula	forte	mt. forte	
D2			nula	mt. forte	
D1				extrema	

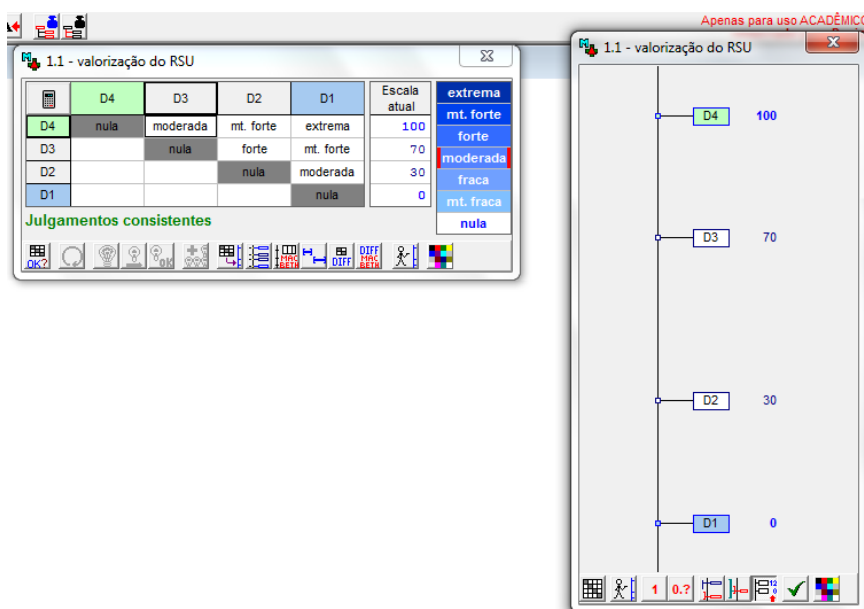
Julgamentos consistentes

- Diferença nula 0
- Diferença muito fraca 1
- Diferença fraca 2
- Diferença moderada 3
- Diferença forte 4
- Diferença muito forte 5
- Diferença extrema 6
- Diferença positiva P
- Outro julgamento...
- Remover julgamento Del
- Tarefas
- Abrir...
- Personalizar...



**Figura 4: Matriz de ordenação de níveis de performances num critério**

A partir da ordenação dos critérios é aberta uma matriz de julgamentos Macbeth para cada critério selecionado. À medida que se completa a matriz o software faz o teste de compatibilidade da informação introduzida, emitindo uma mensagem de consistência ou inconsistência. Logo que a matriz estiver completamente preenchida e validada (matriz triangular superior), o próximo passo é a escala termométrica (descritores qualitativos), visto que permite ao gestor visualizar melhor as pontuações atribuídas aos diferentes níveis, permitindo ainda verificar a diferença entre as pontuações existentes. Assim, os resultados obtidos para as funções de valor (descritores quantitativos) e a visualização das respectivas escalas termométricas encontram-se nas Figuras 5.



**Figura 5: Julgamentos, escala de valor e a escala termométrica do critério Valorização do RSU**

Quanto aos resultados obtidos verificou-se a variação entre positivos e neutros. Para a determinação dos pesos dos critérios foi realizada a avaliação entre a diferença de atratividade dos pares de níveis, um a um, começando por comparar o swing mais atrativo com o segundo mais atrativo e assim por diante, baseado nas categorias semânticas já apresentadas e utilizadas na determinação das funções de valor. Depois dos julgamentos obtidos em cada pares de níveis, preencheu-se a Matriz de Julgamentos para a ponderação dos critérios, Figura 6.



	[3.2]	[2.2]	[1.4]	[1.3]	[3.1]	[3.3]	[3.4]	[3.5]	[4.2]	[6.1]	[6.2]	[6.3]	[5.1]	[5.2]	[5.3]	[tudo inf.]	Escala atual	extrema
[2.1]	moderada	moderada	forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	mt. forte	extrema	extrema	extrema	extrema	100.00	mt. forte
[2.3]	mod-extr	mod-extr	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	90.43	forte
[7.1]	mfrac-frac	mod-extr	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	mfrac-mod	69.76	moderada
[7.2]	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	61.11	frac
[1.1]	frac	frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	mfrac frac	60.49	mt. frac
[5.5]	frac-extr	frac-extr	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	59.88	nula
[4.1]	mt. frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	55.40	
[4.3]	mt. frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	53.47	
[5.4]	mt. frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	mfrac-frac	52.20	
[1.2]	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	40.74	
[2.4]	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	40.12	
[3.2]	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	39.51	
[2.2]	nula	nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	30.25	
[1.4]			nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	29.63	
[1.3]				nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	29.01	
[3.1]					nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	28.40	
[3.3]						nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	27.78	
[3.4]							nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	27.16	
[3.5]								nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	26.54	
[4.2]									nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	25.93	
[6.1]										nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	25.31	
[6.2]											nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	24.69	
[6.3]												nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	mt. frac	24.07	
[5.1]													nula	mt. frac	mt. frac	mt. frac	23.46	
[5.2]														nula	mt. frac	mt. frac	22.84	
[5.3]															nula	mt. frac	22.22	
[tudo inf.]																nula	0.00	

**Figura 6: Matriz de Julgamentos para a ponderação dos critérios**

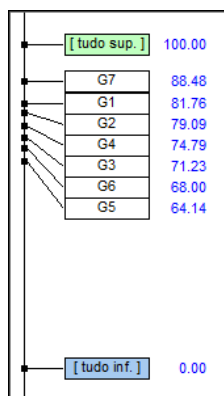
Como resultado das decisões dos gestores e dos dados inseridos relativos às alternativas, obteve-se o seguinte resultado. Demonstrado na Tabela de Pontuações dos Critérios, Figura 7.

Opções	Global	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3
G1	81.76	70.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	75.00	71.43	66.67	100.00	69.64	36.36	72.73	69.23	75.00	100.00	66.67	60.00	0.00
G2	79.09	0.00	81.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	71.43	100.00	30.00	69.64	100.00	36.36	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
G3	71.23	30.00	54.55	33.33	72.73	76.92	100.00	75.00	42.86	100.00	70.00	69.64	100.00	100.00	30.77	75.00	100.00	100.00	0.00	63.64
G4	74.79	100.00	100.00	100.00	72.73	53.85	100.00	100.00	100.00	30.00	27.27	100.00	100.00	69.23	0.00	38.46	100.00	0.00	0.00	0.00
G5	64.14	30.00	81.82	100.00	72.73	53.85	57.14	75.00	71.43	66.67	30.00	0.00	0.00	100.00	30.77	75.00	100.00	33.33	60.00	0.00
G6	68.00	70.00	81.82	100.00	72.73	53.85	28.57	75.00	71.43	66.67	100.00	27.27	100.00	100.00	100.00	33.33	69.23	0.00	60.00	27.27
G7	88.48	100.00	100.00	75.00	72.73	100.00	100.00	100.00	100.00	66.67	100.00	100.00	100.00	0.00	69.23	33.33	69.23	0.00	100.00	100.00
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.0555	0.0374	0.0266	0.0272	0.0917	0.0277	0.0829	0.0368	0.0260	0.0362	0.0255	0.0249	0.0243	0.0508	0.0238	0.0490	0.0215	0.0209	0.0204

**Figura 7: Tabela de Pontuações dos Critérios**

Essa etapa da construção do modelo vários problemas de inconsistência ocorrem nos julgamentos do que quando se determinou as funções de valor, de modo que as alterações dos julgamentos que foram introduzidos, visto que há mais pares de linhas e colunas, consequentemente mais complexidade na identificação do julgamento que deve ser introduzido em determinada célula matriz.

As análises dos resultados ocorrem após a construção formal do modelo, visto que é possível analisar quais os fatores que mais interferem na construção do modelo e proporcionam uma sequência de alternativas. O resultado pode ser observado por meio da tabela de pontuação dos critérios (Figura 8) onde se analisa o termômetro global de desempenho dos gestores diante dos critérios, conforme demonstra na Figura 8.

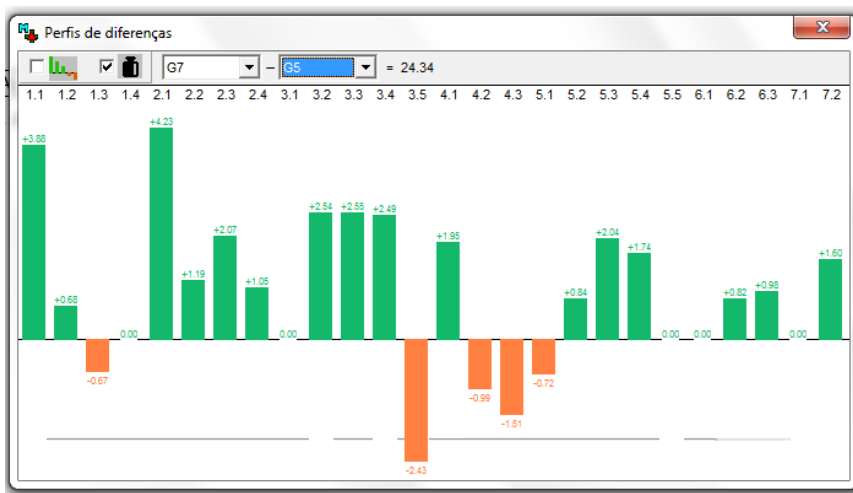


**Figura 8: Termômetro global de pontuações**



Outro aspecto consiste na análise do desempenho gráfico de cada gestor, nota-se que na Figura 8 está apresentando o perfil ponderado de cada gestor. De modo que a soma das ponderações dá a qualificação de cada tomador de decisão, ou seja, o gestor que tiver a maior soma das áreas das barras é o gestor que tem melhor desempenho de acordo com as preferências da pesquisa.

Assim, considera-se que o decisor G7 é o que apresenta o melhor desempenho no gerenciamento dos RSU no município, enquanto o decisor G5 tem desempenho sistêmico em desenvolvimento. A análise é possível ao verificar a diferença entre as alternativas para visualizar em quais critérios uma alternativa foi melhor do que a outra, embora sejam dispensáveis, no entanto, facilitam a compreensão gerando ganhos de tempo na análise do resultado da decisão, Figura 9.

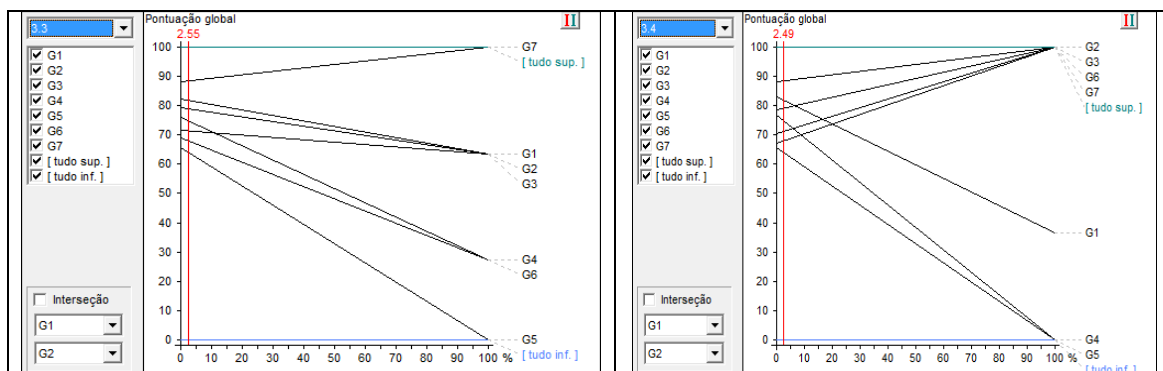


**Figura 9: Perfis de diferenças entre as alternativas do decisor G7 e G5**

A utilização do método Macbeth ao modelo de análise de sensibilidade em estudo aborda particularmente a estruturação dos critérios e da avaliação dos pesos, proporcionando através da interatividade, manuseio dos pesos dos critérios transformando julgamentos qualitativos em informações quantitativas que esteja em conformidade com o conceito de atratividade entre duas opções (Almeida, 2011, p.55).

No modelo em estudo foi considerado válido e robusto por terem sido realizadas várias análises de sensibilidade e de robustez dos seus resultados, utilizando as funcionalidades do M-Macbeth. Avaliando a sensibilidade dos resultados do modelo procurando variar o coeficiente de ponderação de cada critério, sendo esta ferramenta de extrema importância no momento de tomar uma decisão para assim conseguir as variações necessárias de cenários que possivelmente acontecerão. De modo que, os tomadores de decisão muitas vezes não conseguem fazer as análises de cenários com lógica e racionalidade.

Logo, através da análise de sensibilidade de peso, é possível verificar como a pontuação global se modifica, proporcionando mudanças na importância dos critérios, como mostra as Figura 10 e 11 em que foi realizada uma análise para todos os critérios do estudo do modelo.



**Figuras 10 e 11: Análise de Sensibilidade**



A análise de sensibilidade demonstra que por meio do ponto de intersecção entre as retas há uma eventual mudança de decisão, no entanto se não há ponto de intersecção, isso corresponde que o critério não pode mudar de decisão.

Nessa perspectiva o M-Macbeth apresenta ferramentas de interatividade dinâmica, em que se é permitido realizar uma análise de sensibilidade diferenciando alguns fatores e observando o impacto no termômetro global.

## **CONCLUSÕES**

Com o acelerado aumento da geração de resíduos sólidos este se torna um dos maiores desafios enfrentados pelos municípios devido à contaminação das águas terrestres e superficiais, para as comunidades por causa da poluição atmosférica e cheiros de fermentação de resíduos degradáveis, doenças e ausência de controle ambiental.

O software M-Macbeth faz a análise dos atributos inseridos na árvore submetida por quem tem o propósito de tomar a decisão e posteriormente calcula os valores das variáveis nos atributos, chegando assim a uma classificação final demonstrando os resultados obtidos sem o intermédio de qualquer órgão externo.

A pesquisa foi avaliada utilizando dados de sete importantes tomadores de decisão do município do Crato. Assim, considerou apropriada e eficiente a utilização da ferramenta para auxiliar na tomada de decisão, pelo fato de seus resultados serem precisos e condizentes com a situação analisada no trabalho.

Verificou-se que entre os tomadores de decisão o que possui melhor pontuação é do gestor D7 em relação aos demais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. *Technology evaluation of sequencing batch reactors. Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
2. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. *Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. Journal of the Institution of Engineering (India), Part EN: Environmental Engineering Division*, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
3. FADINI, P.S. Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil-Universidade Estadual de Campinas, 1995.