

XI-005 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA APOIAR A GESTÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Sheila Karoline Kusterko⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pós-Graduada em Gerenciamento de Projetos pela Faculdade SENAI Florianópolis. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheira da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

Sandra Rolim Ensslin⁽²⁾

Graduação em Ciência Contábeis pela Universidade Católica de Pelotas. Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pós-Doutorado pela Universidad de Valencia – Espanha. Professora associada da Universidade Federal de Santa Catarina atuando no Programa de Pós-Graduação em Contabilidade (PPGC/UFSC) e no Programa de Engenharia de Produção (EPS/UFSC).

Leonardo Ensslin⁽³⁾

Engenheiro Mecânico Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Especialista em Segurança do Trabalho pela Universidade do Estado de Santa Catarina. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Engenharia Industrial e Sistemas na University of Southern California em 1974. Professor Titular da Universidade Federal da Santa Catarina entre 1977 e 2013. Professor Titular da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL.

Endereço⁽¹⁾: Rua XV de Novembro, 230 - Balneário - Florianópolis - SC - CEP: 88075-220 - Brasil - Tel: (48) 3221-5728 - e-mail: skusterko@casan.com.br

RESUMO

O contexto das ações que envolvem a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água é estratégico para o processo de tomada de decisões a fim de se garantir a sustentabilidade e, até mesmo, a competitividade das empresas de saneamento diante da atual concorrência deste mercado. Esta pesquisa se propôs a construir um modelo de avaliação de desempenho para apoiar uma empresa de saneamento quanto à gestão de perdas nos sistemas de abastecimento de água que opera. Para tanto, baseou-se na Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista (MCDA-C), e nos valores e preferências do Gerente Operacional, identificando, medindo e integrando fatores que influenciam direta ou indiretamente nesta problemática, encontrando o *status quo* e definindo o que pode ser feito para melhorar o planejamento das atividades, compreendendo as consequências das alternativas naquilo que se busca e, ainda, expandindo o conhecimento do decisor a respeito do assunto. Na fase de estruturação, foram construídos 64 descritores distribuídos em quatro áreas de preocupação: perdas aparentes, perdas reais, apoio operacional, relacionamento externo. Ao final da fase de avaliação, o *Status Quo* do sistema de abastecimento de água estudado foi de 22,51, considerado, pelo decisor, no nível competitivo. Foram elaboradas recomendações de ações para melhorar o desempenho do *Status Quo* para aqueles descritores que apresentaram desempenho comprometedor e que foram julgados pelo decisor como merecedores de serem aperfeiçoados. As recomendações simuladas em conjunto foram importantes para a melhora no desempenho em todas as áreas de preocupação, resultando um desempenho global de 71,34. Assim, a metodologia MCDA-C mostrou-se coerente para os temas abordados nesta pesquisa e confirmou suas premissas construtivistas em todas as suas fases aqui desenvolvidas: estruturação, avaliação e recomendações..

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Abastecimento de Água, Gestão de Perdas, Avaliação de Desempenho, Metodologia MCDA-C.

INTRODUÇÃO

O contexto das ações que envolvem a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água é estratégico para o processo de tomada de decisões a fim de se garantir a sustentabilidade e, até mesmo, a competitividade das empresas de saneamento diante da atual concorrência deste mercado (KUSTERKO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015). De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento para o ano de 2014, o índice de perdas na rede de distribuição para os prestadores de serviços de abrangência regional, ou seja, as companhias estaduais de saneamento foi de 36,9% (BRASIL, 2016).

O impacto destas perdas depende de muitos fatores, e pode acarretar em redução da disponibilidade hídrica, faltas de água, aumento dos custos operacionais, perdas no faturamento da empresa, o que pode, inclusive, prejudicar a imagem das empresas de saneamento perante os usuários. Investir no controle e redução de perdas traz benefícios em diversos segmentos: (i) econômico, uma vez que passados os investimentos iniciais, os resultados trazem redução de custos operacionais e aumento no faturamento, já em curto prazo, ou seja, o retorno financeiro se dá em curto prazo (ii) tecnológico, na modernização de equipamentos e capacitação técnica; (iii) energético, tendo em vista que a redução de perdas gera também redução do consumo de energia; (iv) sociocultural, considerando a necessidade de ações para conscientização dos envolvidos na redução de fraudes; e, (v) ambiental, reduzindo os vazamentos e, consequentemente, os impactos da crise hídrica mundial.

A necessidade pela prestação de um serviço eficiente e de qualidade é critério básico no atual cenário mundial. Com o aumento da demanda de água e a crise hídrica em muitos países, este assunto se mostra relevante a todos os serviços públicos ou privados de água (CARDOSO *et al.*, 2012, SCHULZ; SHORT; PETERS, 2011, MCKENZIE; SEAGO, 2005, HASSANEIN; KHALIFA, 2006, MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2009, PALME; TILLMAN, 2008, ALEGRE, 2010, MALMQVIST; PALMQUIST, 2005).

A Lei 11.445/2007 garante a titularidade dos serviços de saneamento ao gestor público, o qual pode delegar a prestação dos serviços à autarquia municipal, consórcio público, empresa privada, empresa pública ou sociedade de economia mista estadual (companhias de saneamento). Desta forma, reduzir e controlar as perdas de água se torna, crucial para a manutenção das empresas no mercado do saneamento básico.

Diante deste contexto, é importante questionar como apoiar gestão de perdas em um sistema de abastecimento de água. Muitos são os fatores que influenciam direta ou indiretamente nesta problemática. É necessário, então, a construção de um sistema capaz de identificar, medir e integrar os fatores relevantes que influenciam no contexto que se pretende gerenciar (modelo), identificar onde o sistema se encontra quanto à gestão de perdas e propor ações para melhorar o planejamento das atividades, compreendendo as consequências do estágio atual e também daquilo que se busca. Considerando que a entidade é gerida por pessoas, é essencial a participação dos decisores na construção desse modelo de avaliação de desempenho.

Para se identificar quais aspectos devem ser considerados, modelos de avaliação de desempenho surgem como um suporte para auxiliar aos tomadores de decisão em suas respectivas atividades cotidianas. Dada a importância e relevância do assunto, a avaliação de desempenho se mostrou presente na gestão dos serviços de água e esgoto a partir da década de 90, quando os primeiros estudos começaram a ser publicados (ALEGRE; CABRERA JR; MERKEL, 2009). Desde então, diversas entidades iniciaram projetos e pesquisas para criação de indicadores, modelos de avaliação de desempenho e apoio à tomada de decisão (MUTIKANGA *et al.*, 2010, CORTON; BERG, 2009; HYDE; MAIER; COLBY, 2005, KANAKOUDIS *et al.*, 2012, PALME; TILLMAN, 2008, MCKENZIE; SEAGO, 2005).

Diversos são os conceitos entorno do tema Avaliação de Desempenho. Não se pode defini-la de apenas uma maneira, pois pode ser entendida de acordo com o fim a que se destina. Avaliação de Desempenho (AD) é conceituada por Kennerley e Neely (2002) como uma ferramenta que possibilita auxiliar as organizações para definir um conjunto de medidas que refletem seus objetivos e estimar seu desempenho de forma apropriada no contexto no qual são aplicadas. Ensslin *et al.* (2013b, p. 739, nossa tradução) definem avaliação de desempenho como:

Avaliação de desempenho é um processo para construir conhecimento no decisor, a respeito do contexto específico que se propõe a avaliar, a partir da percepção do próprio decisor, por meio de atividades que identificam, organizam, mensuram ordinalmente e cardinalmente, integram e permitem visualizar o impacto das ações e seu gerenciamento.

A Avaliação de Desempenho permite auxiliar a gestão, pois, leva em consideração aquilo que é importante no contexto conforme a percepção do gestor, permitindo-lhe visualizar as consequências das decisões potenciais ou daquelas que já foram tomadas. Esta técnica ganha representatividade em contextos nos quais as variáveis não estão claramente definidas, decisores precisam de apoio para identificar o que deve ser levado em conta e há o desejo de melhoria de uma determinada situação problemática. Neste contexto, a avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água consiste em um tema de interesse de acadêmicos, praticantes e da sociedade (ENSSLIN *et al.*, 2015).

Alegre, Cabrera Jr. e Merkel (2009) defendem a ideia de que o principal desafio da avaliação do desempenho atualmente é o de compreender melhor os resultados e torná-los mais compreensíveis para todos. O processo de tomada de decisão envolve muitos dados, cenários, modelos, alternativas, tomadores de decisão e *stakeholders*, tornando-o geralmente complexo (XU; TUNG, 2009). Roy (1994, p. 23) entende que

O apoio à decisão seja uma atividade que auxilie decisor a encontrar elementos que permitam tornar suas decisões mais claras, baseada em metodologia científica, permitindo ainda que o decisor entenda as consequências daquilo que seja mais relevante no contexto do problema.

Sa-Nguanduan e Nititvattananon (2011) entendem que a MCDA é um procedimento útil na resolução de conflitos relacionados com a gestão da água, especialmente quando os impactos não podem ser estimados em aspectos monetários. No entanto, a sua aplicação ao planejamento da gestão de perdas de água tem sido limitada (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi de construir um modelo de avaliação de desempenho para apoiar a Superintendência da Região Metropolitana da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – SRM/CASAN quanto à gestão de perdas nos sistemas de abastecimento de água que opera. Como objetivos específicos teve-se:

- Identificar os diversos critérios que o decisor considera necessários e suficientes para avaliar na gestão de perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água da SRM/CASAN;
- Construir escalas ordinais e cardinais para mensurar tais critérios, segundo a percepção do decisor;
- Integrar os critérios via taxas de compensação, conforme a percepção do decisor e identificar, para um dos sistemas de abastecimento operados pela empresa, o *status quo*, por meio da evidenciação do perfil de impacto;
- Sugerir o que pode ser feito para melhorar o planejamento das atividades, compreendendo as consequências das alternativas naquilo que o decisor busca.

METODOLOGIA

O instrumento de pesquisa utilizado para a construção de um modelo de apoio à gestão de perdas para um Sistema de Abastecimento de Água foi a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista (MCDA-C), dado seu reconhecimento científico para construir modelos para Avaliação de Desempenho (AD) em contextos complexos, envolvendo múltiplos critérios e múltiplos atores com objetivos conflitantes (ENSSLIN; DUTRA; ENSSLIN, 2000; MONTIBELLER *et al.*, 2008; TASCA *et al.*, 2010; ZAMCOPÉ *et al.*, 2010; ENSSLIN *et al.*, 2010).

Esta metodologia enfatiza uma diferença básica de atitude: enquanto as abordagens tradicionais tentam dar uma solução para o problema, MCDA enfatiza a ideia de construção do problema, isto é, concentra-se na modelagem do contexto de decisão a partir da consideração das crenças e valores dos atores envolvidos no processo de

tomada de decisão, de forma a permitir a construção de um modelo sobre o qual basear decisões, que se acredita ser a mais adequada no contexto dado (ENSSLIN; DUTRA; ENSSLIN, 2000, p. 80).

A construção do modelo segue as três fases da MCDA-C: (i) Fase de Estruturação; (ii) Fase de Avaliação; e, (iii) Fase de Recomendações (Ensslin *et al.*, 2010), conforme pode ser observado na Figura 1.

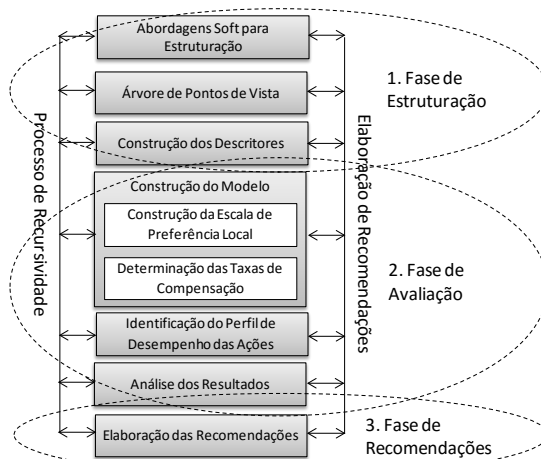


Figura 1: Fases da MCDA-C

Fonte: adaptado de Ensslin, Dutra e Ensslin (2000, p.82)

Lacerda, Ensslin e Ensslin, (2010, 2011a, b) e Zamcopé *et al.* (2010) listam as principais vantagens provenientes da utilização da MCDA-C:

- i) possibilidade de abordar informações qualitativas e quantitativas; ii) possibilidade de capturar e apresentar, de maneira explícita, os objetivos e valores dos decisores; iii) possibilidade de permitir aos decisores refletirem sobre seus objetivos, prioridades e preferências; e, (iv) possibilidade de desenvolver um conjunto de condições e meios para informar as decisões em função do que o decisor achar mais adequado.

As principais vantagens provenientes da utilização da MCDA-C são: possibilidade de abordar informações qualitativas e quantitativas; possibilidade de capturar e apresentar, de maneira explícita, os objetivos e valores dos decisores; possibilidade de permitir aos decisores refletirem sobre seus objetivos, prioridades e preferências; e, possibilidade de desenvolver um conjunto de condições e meios para informar as decisões em função do que o decisor achar mais adequado (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2009, 2011a, b; ZAMCOPÉ *et al.*, 2010).

Para o presente estudo de caso, a metodologia permite, por exemplo, a priorização de determinadas ações, com vistas à gestão de perdas em abastecimento de água, baseadas nos valores e preferências do decisor (KUSTERKO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015). Ao final do trabalho o decisor pode identificar de forma fundamentada os pontos críticos para o planejamento das ações para o controle e redução de perdas neste Sistema de Abastecimento de Água.

RESULTADOS

FASE 1 - ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Na primeira fase do modelo, a estruturação, o decisor identificou os critérios necessários e suficientes para avaliar na gestão de perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água da SRM/CASAN. Para tanto foi realizada a contextualização do problema, a apresentação dos atores, a criação dos Elementos Primários de Avaliação,

Conceitos, Áreas de Preocupação, Mapas Meios-Fins, a elaboração da Estrutura Hierárquica de Valor e a construção dos descritores e suas escalas cardinais.

O decisor deste problema foi o Gerente Operacional da SRM, o qual gerencia as atividades e projetos operacionais na Superintendência. De acordo com os critérios e valores do decisor, foram encontrados 94 Elementos Primários de Avaliação (EPAs), que são as características ou propriedades do contexto que o decisor julga impactarem em seus valores. A partir destes EPAs foram criados os conceitos, que foram então agrupados em quatro áreas de preocupação. Para esse modelo, foram identificadas quatro áreas de preocupação: (i) Perdas Aparentes; (ii) Perdas Reais; (iii) Apoio Operacional; e, (iv) Relacionamento Externo.

A partir de uma estrutura *top-down*, foram criados os mapas Meios-Fins, que é a representação gráfica do discurso do decisor, elaborado pelo facilitador. A partir da estruturação do Mapa Meio-Fim é possível visualizar os níveis estratégicos e operacionais do modelo. Ao nível estratégico estão os PFV (Pontos de Vista Fundamentais), que não são possíveis de serem mensurados. Já os Pontos de Vista Elementares (PVE) estão ao nível operacional do modelo e, a partir destes, é possível criar os descritores para então realizar a avaliação do desempenho.

Na Metodologia MCDA-C, a estrutura de relações de influência formada pelo Mapa Meios-Fins pode ser convertida em uma forma estruturada, chamada Estrutura Hierárquica de Valor (EHV). A Estrutura Hierárquica de Valor é formada, então, pela interligação do rótulo, seguida pelas Áreas de Preocupação (Objetivos Estratégicos) e de seus Pontos de Vista Fundamentais e Pontos de Vista Elementares (KUSTERKO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015).

Ao nível estratégico ficaram os Pontos de Vista Fundamentais (PVF), que não foram possíveis de serem mensurados. Para o modelo de Gestão de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água proposto, foram criadas quatro áreas de preocupação Perdas Aparentes; Perdas Reais; Apoio Tecnológico e Relacionamento Externo, resultando em 12 Pontos de Vista Fundamentais: Aumento Faturamento; Medição de Vazão; Manutenção; Confiabilidade; Operação; Apoio Tecnológico; Setorização; Melhoria Contínua; Satisfação Cliente; Atendimento PMSB; Notificações e Reconhecimento. Os Pontos de Vista Fundamentais resultaram em 77 Pontos de Vista Elementares. A Figura 2 apresenta a EHV do modelo, apresentando as áreas de preocupação e Pontos de Vista Fundamentais.



Figura 2: Estrutura Hierárquica de Valor.

Fonte: Kusterko (2015)

A última etapa da fase “Estruturação”, proposta pela metodologia MCDA-C, diz respeito à construção de escalas ordinais, denominadas “Descritores” (ENSSLIN; DUTRA; ENSSLIN, 2000). Após a construção das escalas, o decisor deve informar o que caracteriza um desempenho bom e um desempenho ruim, ou seja, os níveis de referência. Esses níveis de referência são denominados de “Nível Bom”, para o qual os resultados acima demonstram um desempenho excelente, e por “Nível Neutro”, para o qual os resultados abaixo desse valor apresentam um desempenho considerado comprometedor. O desempenho entre o “Nível Neutro” e o “Nível Bom” é denominado competitivo na metodologia MCDA-C (ROY, 2005). Este modelo gerou 77 PVE, resultando em 64 descritores.

O Descritor para o PVE “Macromedicação” é apresentado na Figura 3, com a respectiva escala ordinal e nível de referência.

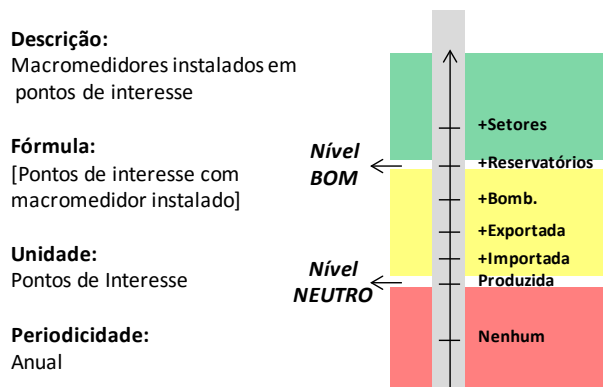


Figura 3: Descritor Macromedicação.

Fonte: Kusterko (2015).

Observe-se que a construção dos descritores não permite ao decisor mensurar os aspectos do contexto de forma quantitativa e integrada. Para tanto, procede-se à fase de avaliação.

FASE 2 - AVALIAÇÃO

Nesta fase, a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista visa transformar o modelo qualitativo (construído na Fase de Estruturação) em um modelo quantitativo, por meio da explicitação do juízo de valor do decisor, de forma a permitir a avaliação global das alternativas (ENSSLIN; DUTRA; ENSSLIN, 2000). As funções de valor do modelo têm como propósito transformar escalas ordinais em cardinais. Isso permite ao decisor visualizar a diferença de atratividade da passagem de um determinado nível para outro em cada descritor e mensurar quantitativamente o modelo em cada PVE (ENSSLIN et al., 2010a).

Neste trabalho, o método adotado para transformação de escalas ordinais em cardinais foi o Macbeth – *Measuring Atractivines by a Categorical Based Evaluation Technique* (BANA E COSTA; VANSNICK, 1997, ENSSLIN; DUTRA; ENSSLIN, 2000). Para cada descritor foi questionado ao decisor quanto à diferença de atratividade entre dois níveis da escala ordinal, de acordo com as categorias a seguir, permitindo-se, assim, a comparação par-a-par de todos os níveis do descritor.

- C0: diferença de atratividade nula;
- C1: diferença de atratividade muito fraca;
- C2: diferença de atratividade fraca;
- C3: diferença de atratividade moderada;
- C4: diferença de atratividade forte;
- C5: diferença de atratividade muito forte; e
- C6: diferença de atratividade extrema.

Assim, o Macbeth constrói a matriz de julgamentos, construindo a escala cardinal de cada descritor. O nível bom passa a ter o valor 100 e o nível neutro passa a ter o valor zero (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001). A Figura 4 apresenta um exemplo da transformação do um Descritor “Sistema Supervisório” em Função de Valor por meio do Método Macbeth.

% de unidades operacionais,
identificadas como
necessárias, com telemetria

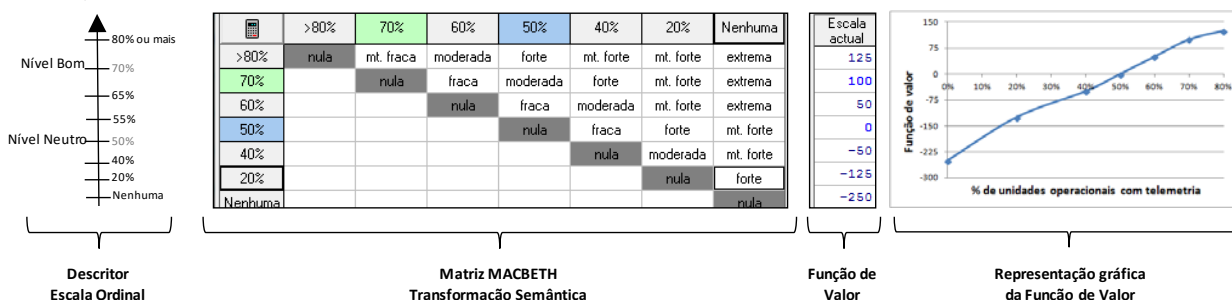


Figura 4: Transformação do Descriptor “Sistema Supervisório” em Função de Valor por meio do Método Macbeth.

Fonte: Kusterko (2015).

Ensslin et al. (2010b) afirmam que a metodologia MCDA-C disponibiliza ao decisor um entendimento para realizar a mensuração cardinal de cada aspecto operacional considerado relevante. No entanto, para se visualizar a mensuração dos aspectos julgados estratégicos (Pontos de Vista Fundamentais) e os táticos, (Pontos de Vista Elementares intermediários), é necessário integrar o modelo. Isso é propiciado por meio das taxas de substituição.

Esta etapa serve para agregar as avaliações locais de cada critério em uma avaliação global que possibilite a comparação das mudanças de desempenho em outros descritores e ainda comparar alternativas disponíveis. Para Kusterko, Ensslin e Ensslin (2015), as taxas de substituição, ou compensação, são constantes que representam a contribuição do critério no ponto de vista superior quando uma alternativa tem seu desempenho aperfeiçoado do nível Neutro para o nível Bom. Para essa conversão, o decisor expressa seus julgamentos por meios semânticos e as alternativas devem ser hierarquizadas e ordenadas de acordo com a preferência julgada pelo decisor, para isso utilizou-se a Matriz de Roberts (ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001).

Estas alternativas geradas foram ordenadas preferencialmente com o uso da Matriz de Roberts, segundo a percepção do decisor, que definiu sua preferência na linha ou coluna. Quando da ordenação de preferência das alternativas, as taxas de substituição são calculadas de maneira similar à construção das escalas cardinais. Da mesma forma, pode-se dar continuidade aos demais PVE e PVF, encontrando-se todas as taxas de substituição do modelo. Este processo é demonstrado na Figura 5, Tabela 1 e Figura 6.

As Figuras 7 a 10 apresentam os descritores, escalas ordinais, funções de valor e taxas de substituição para as Áreas de Preocupação deste Estudo de Caso.

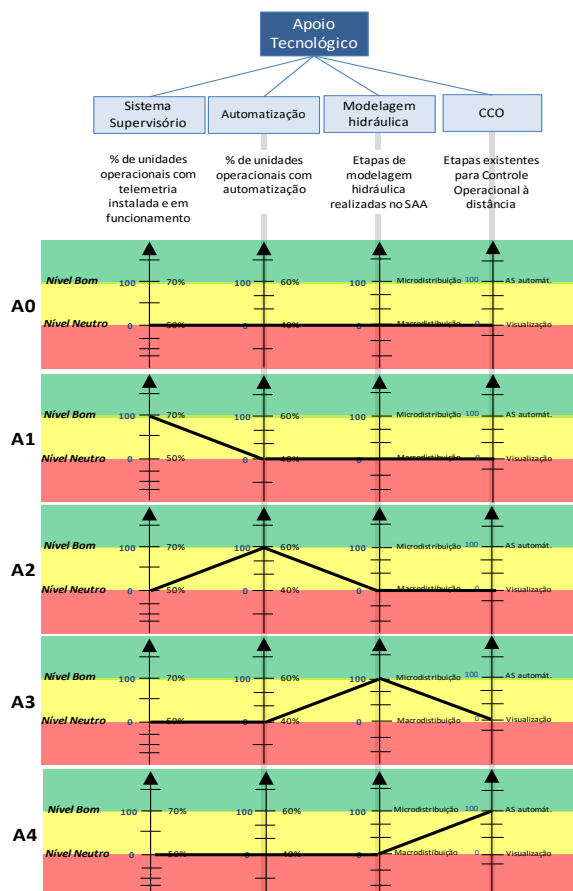


Figura 5: Alternativas criadas para o PVF "Apoio Tecnológico".
Fonte: Kusterko (2015).

Tabela 1: Matriz de Roberts para o PVF "Apoio Operacional".

Alternativa	A1	A2	A3	A4	A0	Soma	Ordem
A1		1	1	1	1	4	1º
A2	0		1	1	1	3	2º
A3	0	0		1	1	2	3º
A4	0	0	0		1	1	4º
A0	0	0	0	0		0	

Fonte: Kusterko (2015).

	[Supervisório]	[Automa]	[Modelagem]	[CCO]	[tudo inf.]
[Supervisório]	nula	mt. fraca	fraca	moderada	extrema
[Automa]		nula	mt. fraca	moderada	mt. forte
[Modelagem]			nula	fraca	moderada
[CCO]				nula	moderada
[tudo inf.]					nula

	Escala actual
[Supervisório]	33.33
[Automa]	30.00
[Modelagem]	23.33
[CCO]	13.34
[tudo inf.]	0.00

Figura 6: Transformação das taxas de compensação para o PVF "Apoio Tecnológico".

Fonte: Kusterko (2015).

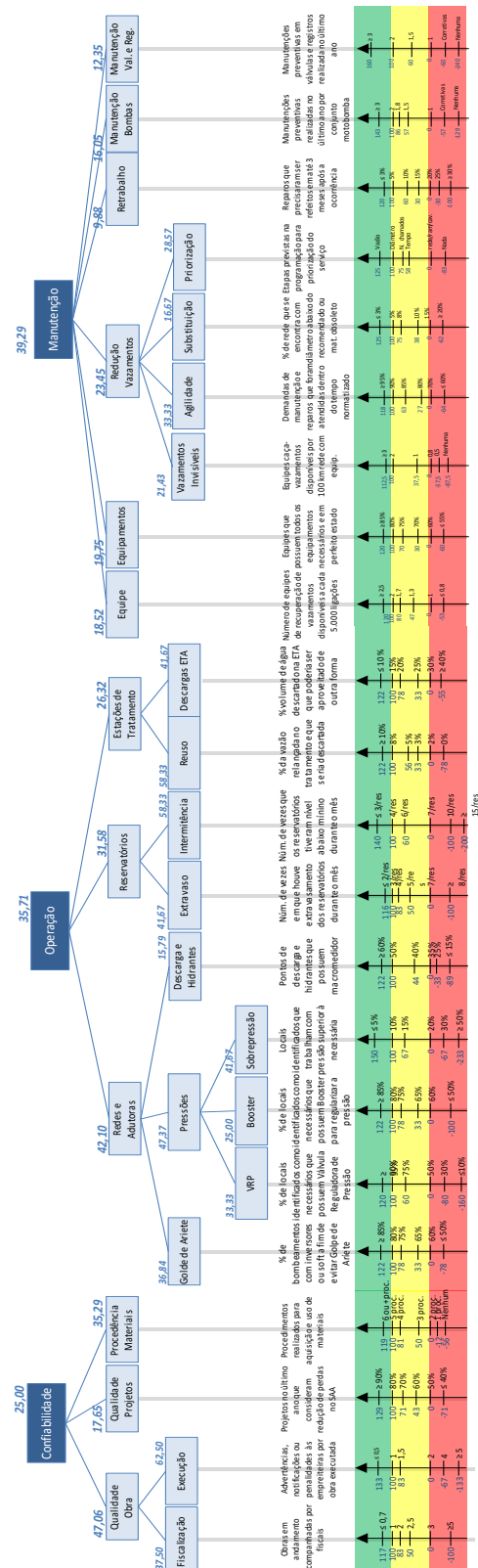


Figura 8: Descritores, escalas ordinais, funções de valor e taxas de substituição para a da Área de Preocupação “Perdas Reais”.

Fonte: Kusterko (2015).

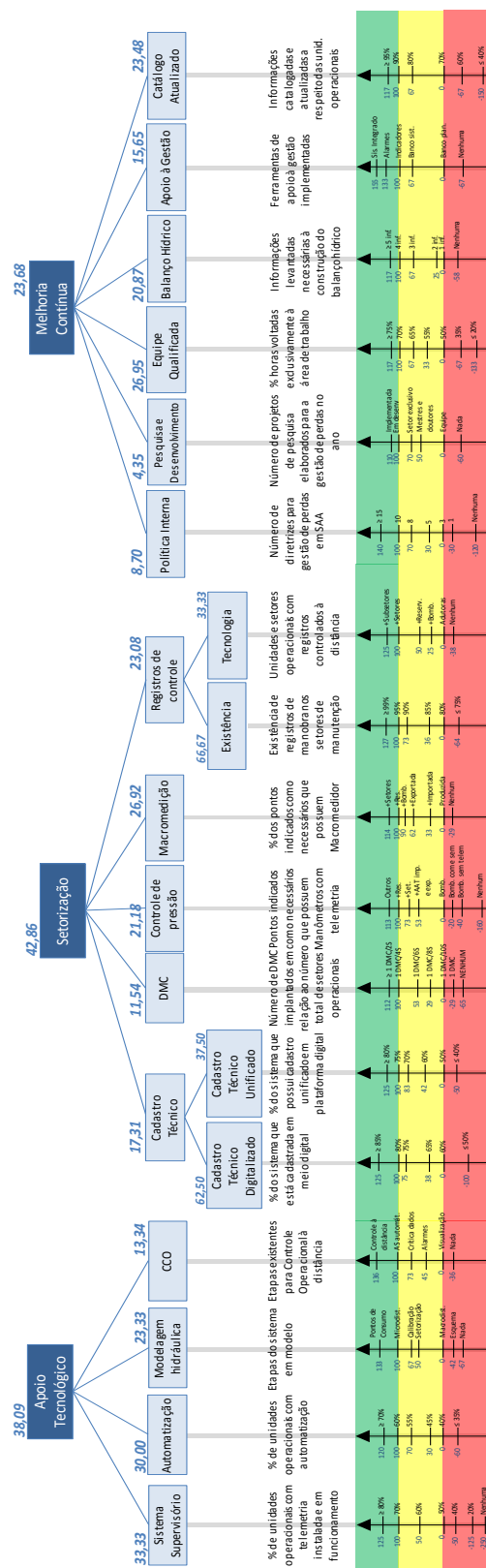


Figura 9: Descritores, escalas ordinais, funções de valor e taxas de substituição para a da Área de Preocupação “Apoio Operacional”.
Fonte: Kusterko (2015).

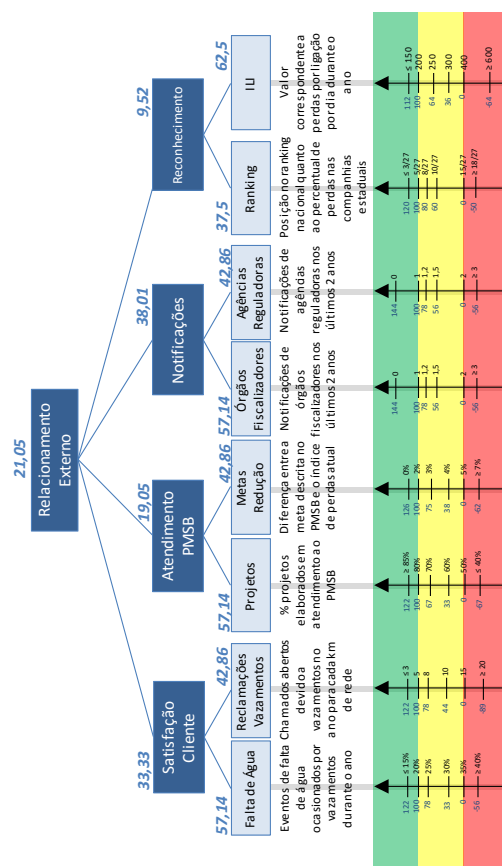


Figura 10: Descritores, escalas ordinais, funções de valor e taxas de substituição para a da Área de Preocupação “Relacionamento Externo”.
Fonte: Kusterko (2015).

Uma vez obtidas as funções de valor e taxas de compensação, é possível então realizar a avaliação global e o perfil de impacto da situação atual. A avaliação global é realizada aplicando-se a equação global (1) para a alternativa ou situação em questão. É expressa pela soma das taxas de compensação multiplicadas pela performance de cada PVF.

$$V_{PVFk}(a) = \sum_{i=1}^{n_i} w_{i,k} * v_{i,k}(a) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

$V_{PVFk}(a)$: Valor global da ação a do PVF_k , para $k = 1, \dots, m$;

$v_{i,k}(a)$: Valor parcial da ação a no critério i , $i = 1, \dots, n$, do PVF_k , para $k = 1, \dots, m$;

a : nível de impacto da ação a ;

$w_{i,k}$: taxas de substituição do critério i , $i = 1, \dots, n$, do PVF_k , para $k = 1, \dots, m$;

n_k : número de critérios do PVF_k , para $k = 1, \dots, m$;

m : número de PVFs do modelo.

Neste estudo w_j ($j = 1, \dots, n$), onde:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{and} \quad w_j > 0$$

Para que os PVFs possam ser comparados é essencial que os níveis de atratividade e repulsividade sejam equivalentes em todos os níveis. Assim os níveis BOM e NEUTRO precisam ter o mesmo valor parcial, logo:

$$\begin{cases} V_{FPV_j}(\text{good}_j) = 100 \\ V_{FPV_j}(\text{neutral}_j) = 0 \end{cases}$$

A Equação Geral do modelo proposta neste trabalho é apresentada pela Equação 2, cada uma representando um objetivo estratégico ou área de preocupação.

$$V_{\text{GESTÃO PERDAS}}(a) = 0,2895 \times V_{\text{PERDAS APARENTES}}(a) + 0,2632 \times V_{\text{PERDAS REAIS}}(a) + 0,2368 \times V_{\text{APOIO OPERACIONAL}}(a) + 0,2105 \times V_{\text{RELACIONAMENTO EXTERNO}}(a) \quad \text{equação (2)}$$

Esta fase foi realizada para um dos Sistemas de Abastecimento de Água atendidos pela Superintendência Regional da CASAN. Foi possível agora ter um modelo global de avaliação e identificar o perfil de desempenho da situação atual, ou seja, o Status Quo. Ao decisor, torna-se possível expandir o entendimento sobre o contexto do problema, apoiando o processo de gestão. A Figura 11 apresenta o Perfil de Impacto da Área de Preocupação “Apoio Operacional” do sistema de abastecimento estudado.

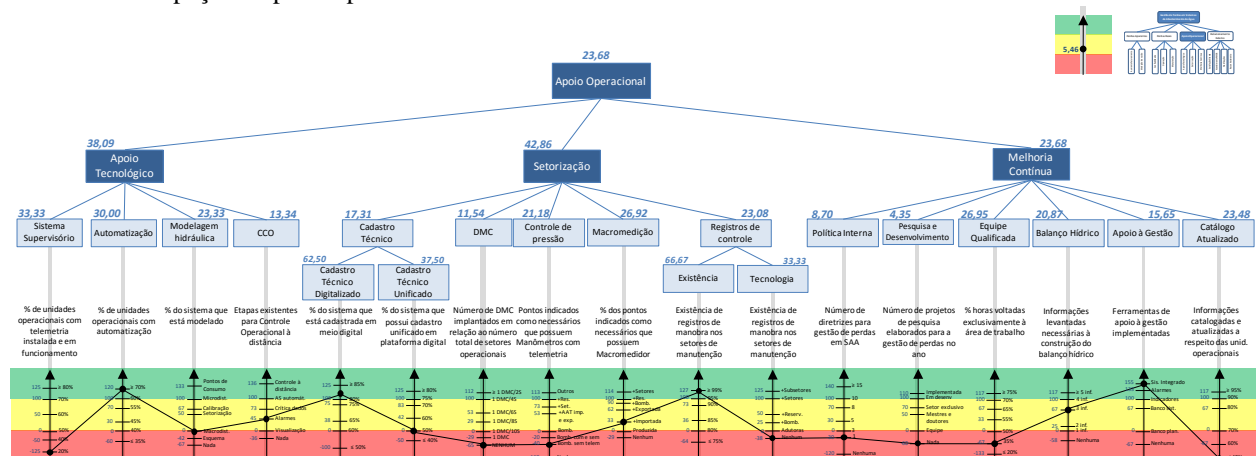


Figura 11: Perfil atual de desempenho da Área de Preocupação "APOIO OPERACIONAL".

Fonte: Kusterko (2015).

A Tabela 2 apresenta o valor da avaliação global de cada área de preocupação, aplicada à Equação 2 a seguir, para o SAA em estudo.

Tabela 2: Resumo do desempenho atual de cada área de preocupação do modelo

Área de Preocupação	Valor
Perdas Aparentes	23,74
Perdas Reais	2,42
Apoio Operacional	5,45
Relacionamento Externo	65,13

Fonte: Kusterko (2015).

$$V_{\text{GESTÃO PERDAS}}(a) = 0,2895 \times V_{\text{PERDAS APARENTES}}(a) + 0,2632 \times V_{\text{PERDAS REAIS}}(a) + 0,2368 \times V_{\text{APOIO OPERACIONAL}}(a) + 0,2105 \times V_{\text{RELACIONAMENTO EXTERNO}}(a) \quad \text{equação (2)}$$

$$V_{\text{GESTÃO PERDAS}}(a) = 0,2895 \times (23,74) + 0,2632 \times (2,42) + 0,2368 \times (5,45) + 0,2105 \times (65,13)$$

$$V_{\text{GESTÃO PERDAS}}(a) = 22,51$$

O valor global quanto à gestão de perdas no SAA estudado resultou em 22,51. De acordo com a metodologia MCDA-C, o SAA encontra-se no nível competitivo de mercado quanto à gestão de perdas, pois o valor está entre 0 e 100. Como o valor está mais próximo do nível neutro que do nível bom, percebemos que melhorias podem ainda ser realizadas no sistema de abastecimento. Estas melhorias são levantadas na fase de Recomendações.

FASE 3 – RECOMENDAÇÕES

As etapas realizadas até este momento permitiram a estruturação do modelo de avaliação de desempenho quanto à gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água para a Superintendência da Região Metropolitana da CASAN, assim como a sua avaliação local e global, o que permitiu ao decisor encontrar o perfil de desempenho da situação atual (*Status Quo*) para um de seus Sistemas de Abastecimento de Água.

Neste momento, o decisor possui ferramentas suficientes para identificar os pontos de vistas elementares e fundamentais (PVE e PVF) relevantes a serem aperfeiçoados, melhorando o desempenho do contexto avaliado, além de entender as consequências da implementação dessas ações nos objetivos estratégicos (KUSTERKO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015).

De maneira geral, a etapa de Recomendações na metodologia MCDA-C permite ao decisor: (i) identificar os aspectos em que se deva intervir; (ii) identificar ações que promovam o aperfeiçoamento; e (iii) visualizar as consequências da implementação em nível local ou operacional (no PVE), em nível tático (no PVF) e estratégico (Global). Além disso, é possível testar novos cenários, fazer simulações a fim de melhor entender as consequências e apoiar as decisões (ENSSLIN e ENSSLIN, 2013; LONGARAY et al., 2015).

Através das simulações realizadas, foi permitido ao decisor visualizar as consequências no desempenho local e global, uma vez implantadas as ações de aperfeiçoamento. Nesta primeira etapa do estudo, foram elaboradas recomendações para descritores com desempenho comprometedor, julgados pelo decisor relevantes de serem aperfeiçoados.

Foram identificados 20 pontos de vista elementares com desempenho abaixo do nível neutro, na faixa comprometedor. Para cada um destes PVE, juntamente com o decisor, foram levantadas alternativas viáveis atualmente para a melhoria de sua performance, elevando-os minimamente ao nível competitivo. A Figura 13 apresenta o processo para elaboração e simulação das recomendações. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

ÁREA DE PREOCUPAÇÃO: APOIO OPERACIONAL
PVF: APOIO TECNOLÓGICO
PVE: SUPERVISÓRIO

Desempenho atual: -125
Desempenho atingível na 1ª etapa: 50
Ações para aperfeiçoamento: Implantar sistema supervisório nos pontos mais relevantes do SAA (ERAB, reservatórios, ERAT, booster)
Tipo de ação: Operacional
Recursos envolvidos: Técnicos, Financeiros
Impacto no desempenho do PVE: $50 - (-120) = 170$
Impacto no desempenho do PVF: $58,67 - 0,34 = 58,33$
Impacto no desempenho da Área: $27,67 - 5,46 = 22,21$

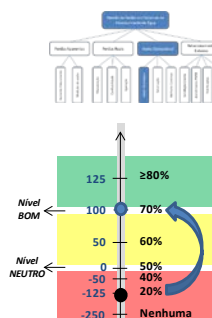


Figura 12: Recomendações para o PVE “Supervisório” da Área de Preocupação “APOIO OPERACIONAL”.

Fonte: Kusterko (2015).

Tabela 3: Impactos no Status Quo com as simulações realizadas - níveis atingíveis (1a etapa).

Área	PVF	PVE	Status Quo atual	Status Quo do PVF	Status Quo 1a etapa	Impacto Status Quo do PVF	Impacto no Status Quo Área	Impacto no Status Quo Total
Perdas Aparentes	Aumento Faturamento	Fraudes - Int. Fraudulentas	-180	-18,79	0	33,96	48,09	29,56
		Cadastro - Atualização	-62	-18,79	125	6,3	35,32	25,86
	Medição de Vazão	Vol. Macro - Calibração	-75	60,20	100	103,95	47,3	29,33
		Vol. Micro - Abrigo HD	-88	60,20	0	62,57	25,02	22,88
	Tudo Perdas Aparentes				23,74			84,5
Perdas Reais	Confiabilidade	Quali Obra - Fiscalização	-100	-31,53	83	0,76	10,5	24,64
		Quali Obra - Execução	-133	-31,53	100	37	19,56	27,02
	Operação	Redes - Pressões - VRP	-160	14,87	120	30,49	9,07	24,26
		Redes - Descargas	-89	14,87	0	17,8	4,54	23,07
		Reservatórios - Intermittência	-200	-68,32	140	74,51	24,79	28,4
	Manutenção	Red. Vaz. - Invisíveis	-87,5	15,43	0	19,83	4,15	22,97
		Man. Bombas	-57	15,43	100	40,63	12,32	25,12
		Man. Reg. e Valv.	-60	15,43	0	22,84	5,34	23,28
	Tudo Perdas Reais				2,42			73,29
Apoio Operacional	Apoio Tecnológico	Supervisório	-125	0,34	50	58,67	27,67	27,77
	Setorização	Medição Pressão	-40	21,43	53	41,13	13,9	24,51
		DMC	-65	21,43	0	28,93	8,67	23,27
		Registros - Tecnologia	-38	21,43	0	24,35	6,71	22,81
	Melhoria Contínua	Política interna	-30	-20,26	100	-8,95	7,61	23,02
		Equipe qualificada	-67	-20,26	0	-2,2	8,9	23,33
		P&D	-60	-20,26	0	-17,65	5,95	22,63
		Catálogo Atualizado	-150	-20,26	117	42,44	17,4	25,34
	Tudo Apoio Operacional				5,46			58,62
Influência Total				22,51				71,34

Fonte: Kusterko (2015).

As recomendações simuladas em conjunto foram relevantes para a melhora no desempenho em todas as áreas estudadas, resultando em 84,5 para o objetivo estratégico “Perdas Aparentes”, 73,29 para o objetivo estratégico “Perdas Reais” e 58,62 para o objetivo “Apoio Operacional”, cujos incrementos foram de 60,76; 70,87 e 53,16 pontos, respectivamente. O desempenho global passaria então de 22,51 para 71,34.

A Figura 14 apresenta os descritores, escalas ordinais, escalas cardinais, taxas de compensação, perfil de desempenho atual e aperfeiçoamento para a Área de Preocupação “Apoio Operacional”.

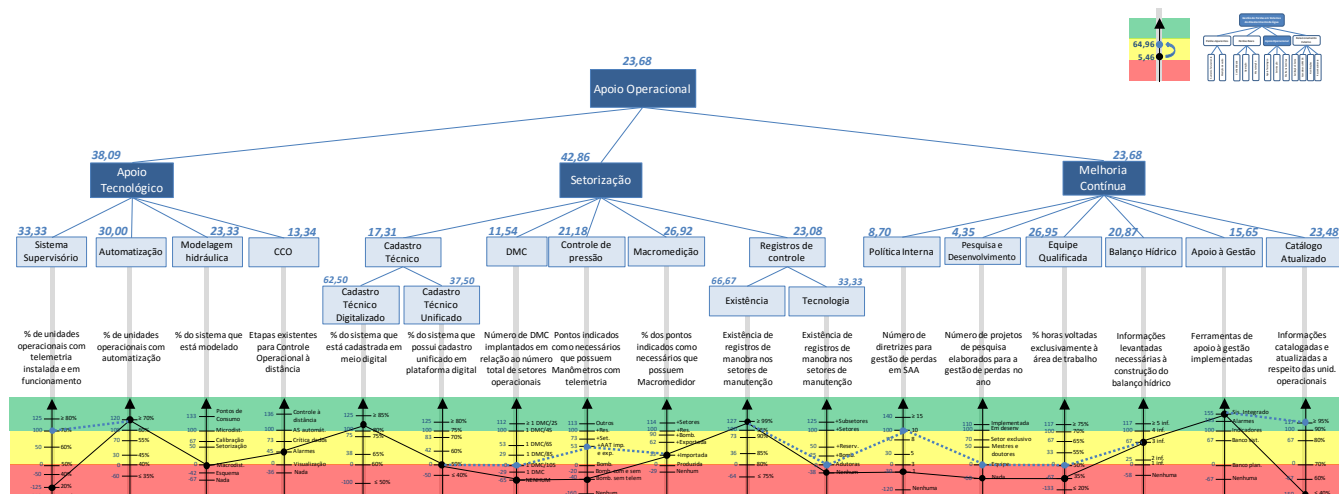


Figura 13: : Perfil atual de desempenho da Área de Preocupação "APOIO OPERACIONAL" após implementação das recomendações.

Fonte: Kusterko (2015).

Para um segundo momento, sugere-se uma reavaliação dos descritores em nível competitivo, analisando melhorias que poderiam ser recomendadas e implementadas para uma elevação no desempenho global, levando o modelo à faixa de excelência. Posteriormente, pode-se encontrar o perfil de impacto dos demais SAA atendidos pela SRM, comparando-os entre si e apoiando o processo decisório.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa permitiu construir um modelo de avaliação de desempenho para apoiar a gestão de perdas no sistema de abastecimento de água da SRM/CASAN. A metodologia MCDA-C mostrou-se coerente para os temas abordados nesta pesquisa e confirmou suas premissas construtivistas em todas as suas fases aqui desenvolvidas: estruturação, avaliação e recomendações e pode ser utilizada na gestão de outros processos do setor de saneamento, tais como: gestão de estações de tratamento de água e esgoto, gestão de operações, etc.

Uma das dificuldades encontradas na construção desse modelo de avaliação de desempenho multicritério construtivista se deu na obtenção dos dados e consequente elaboração do perfil de impacto. Esta dificuldade é similar em diversos outros estudos (MACHADO *et al.*, 2009, KANAKOUDIS; TSITSIFLI, 2010, KANAKOUDIS *et al.*, 2012, MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013).

Para futuras pesquisas, recomenda-se a elaboração do perfil de desempenho dos demais sistemas de abastecimento de água operados pela SRM/CASAN com o propósito de ampliar a gama de recomendações, priorização de ações e visualização das consequências no *Status Quo*.

Cabe ressaltar que o modelo proposto aqui não pode ser generalizado para outras empresas de saneamento, devido a sua característica construtivista. No entanto, pode servir como orientação para outras concessionárias, necessitando proceder adaptações ao alinhamento e ao contexto para sua validação (percepção de seus decisores). Sugere-se que os decisores deste processo sejam engenheiros e técnicos envolvidos na operação de sistemas de abastecimento de água, de modo que descritores e níveis de referência sejam os mais apropriados à situação.

Além disso, apesar do entendimento de cada problema ser único, sugere-se um estudo que aprofunde o conhecimento quanto aos limites inferiores e superiores de indicadores de desempenho estudados mundialmente, tanto quanto à gestão de perdas, como a gestão de sistemas urbanos de saneamento como um todo, a fim de se ter um banco de dados consistente a respeito do assunto, permitindo o *Benchmarking* e a comparação com diversas empresas. Isto facilitaria ainda aos decisores na elaboração e cumprimento de metas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, H.. Is strategic asset management applicable to small and medium utilities? *Water Science & Technology*. v. 62, n. 9, 2051-2058, 2010.
2. ALEGRE, H.; CABRERA JR, E.; MERKEL, W.. Performance assessment of urban utilities: The case of water supply, wastewater and solid waste. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*. v. 58, n. 5, p. 305-315, 2009.
3. BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. Applications of the MACBETH Approach in the Framework of an Additive Aggregation Model. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, v. 6, n. 2, p. 107-114, 1997.
4. BRASIL. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF. 08 jan. 2007. Seção 1, p. 3-7.
5. BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013. Brasília: MCIDADES. 2015.
6. CARDOSO, M. A.; SILVA, M. S.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; COVAS, D. I. C.. Urban water infrastructure asset management – a urban water infrastructure asset management. *Water Science & Technology*. v. 66, n. 12, p. 2702-2711, 2012.
7. CORTON, M. L.; BERG, D. S. V.. Benchmarking Central American water utilities. *Utilities Policy*. 17: 267–275. 2009.
8. DELLA BRUNA, E., ENSSLIN, L., & ENSSLIN, S. R.. Supply chain performance evaluation: a case study in a company of equipment for refrigeration. In *Technology Management Conference (ITMC), 2011 IEEE International*, p. 969-978.
9. ENSSLIN, L.; DUTRA, A.; ENSSLIN, S.R. MCDA: a construtivist approach to the management of human resources at a governmental agency. *International Transactions in Operational Research*, v.7, p.79-100. 2000.
10. ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N.; NORONHA, S. M.. Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. Insular, Florianópolis. 2001.
11. ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. ProKnow-C, Knowledge Development Process-Constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil 2010a.
12. ENSSLIN, L.; GIFFHORN, E.; ENSSLIN, S. R.; PETRI, S. M.; VIANNA, W. B. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, p. 125-152, 2010b.
13. ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; ROCHA, S.; MARAFON, A.D.; MEDAGLIA, T. A. Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. *Produção*, v.23(2), p. 402-421. 2013a.
14. ENSSLIN, S.R.; ENSSLIN, L.; BACK, F.; LACERDA, R.T.O.. Improved decision aiding in human resource management a case using constructivist multi-criteria decision aiding. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 62, n 7, p. 735-757, 2013b.
15. ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; KUSTERKO, S. K.; CHAVES, L. C. Avaliação de desempenho em sistemas de abastecimento de água: seleção de referencial teórico e análise bibliométrica. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. v. 19, n. 2, p. 899-912, 2015.
16. HASSANEIN, A. A. G.; KHALIFA, R. A.. Financial and operational performance assessment: Water/wastewater Egyptian utilities. *Building Services Engineering Research and Technology*. v. 27, n. 4, p. 285-295, 2006.
17. HYDE, K. M.; MAIER, H. R.; COLBY, C. B.. A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resources decision making. *Journal of Environmental Management*. v. 77, p. 278–290, 2005;
18. KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S.. Results of an urban water distribution network performance evaluation attempt in Greece. *Urban Water Journal*. v. 7, n. 5, p. 267-285, 2010.
19. KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S.; SAMARAS, P. ZOUBOULIS, A.; BANOVEC, P.. A new set of water losses-related performance indicators focused on areas facing water scarcity conditions. *Desalination and Water Treatment*. v. 51, p. 2994-3010, 2012.
20. KEENEY, R. L. Value Focused-Thinking: A Path to Creative Decision-making. Cambridge: Harvard University Press, 1992.

21. KENNERLEY, M.; NEELY, A. A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 11, p. 1222 – 1245, 2002.
22. KUSTERKO, S. K.. Avaliação de desempenho para apoiar a gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água fundamentada na Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2015.
23. KUSTERKO, S. K.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Avaliação de desempenho quanto à gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água através da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista (MCDA-C). *Anais do XXII Simpósio de Engenharia de Produção*, 2015, Bauru.
24. LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A study case about a software project management success metrics. *Skovde: Software Engineering Workshop (SEW)/ IEEE*, 2009.
25. LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A performance measurement framework in portfolio management: A constructivist case. *Management Decision*, v. 49, n. 4, p. 648-668, 2011a.
26. LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A performance measurement view of IT project management. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 60, n. 2, p. 132-151, 2011b.
27. LAMBERT, A.. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *The Blue Pages – IWA*. v. 10, n. 3, p. 273-284, 2000.
28. LONGARAY, A. A.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; Da ROSA, I. O.. Assessment of a Brazilian public hospital's performance for management purposes: A soft operations research case in action. *Operations Research for Health Care*, v.5, p. 28-48, 2015.
29. MACHADO, B.; CARVALHO, T.; CUPIDO, C.; ALMEIDA, M. C.; ALEGRE, H.. Minimization of losses in water supply systems: strategy definition in a Portuguese case study. *Desalination and Water Treatment*. v. 2, p. 24–29, 2009.
30. MALMQVIST, P. A.; PALMQVIST, H.. Decision support tools for urban water and wastewater systems - Focussing on hazardous flows assessment. *Water Science & Technology*. v. 51, n. 8, p. 41-49, 2005.
31. MARAFON, A. D.; ENSSLIN, L.; OLIVEIRA, R. T. De.; ENSSLIN, S.R. The effectiveness of multi-criteria decision aid methodology. *European Journal of Innovation Management*, v. 18, n. 1, p. 86 – 109, 2015.
32. MARQUES, R. C.; MONTEIRO, A. J.. Application of Performance Indicators to Control Losses: Results From the Portuguese Water Sector. *Water Science & Technology*. v. 3, n. 1-2, p. 127-133 2003.
33. MCKENZIE, R.; SEAGO, C.. Assessment of real losses in potable water distribution systems: some recent developments. *Water Science and Technology*. v. 5, n. 1, p. 33-40, 2005.
34. MONTIBELLER, G. BELTON, V.; ACKERMANN, F.; ENSSLIN, L.. Reasoning maps for decision aid: An integrated approach for problem-structuring and multi criteria evaluation. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, n. 5, p. 575-589, 2008.
35. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. *Water S. A.* v. 37, n. 4, p. 567-574, 2011a.
36. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Methods and tools for managing losses in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. v. 139, p. 166-174, 2013.
37. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. *Water Resources Management*. v. 25, p. 3947-3969, 2011b.
38. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Water loss management in developing countries: Challenges and prospects. *Journal / American Water Works Association*. v. 101, n.12, p. 57- 68, 2009.
39. MUTIKANGA, H. SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.; CABRERA JR, E.. Using performance indicators as a water loss management tool in developing countries. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*. v. 59, n. 8, p. 471- 481, 2010.
40. PALME, U.; TILLMAN, A. M.. Sustainable development indicators: how are they used in Swedish water utilities? *Journal of Cleaner Production*. v. 16, p. 1346-1357, 2008.

41. ROY, B. On operational research and decision aid. *European Journal of Operational Research*, v.73, n.1, p.23-26, 1994.
42. ROY, B. Paradigms and Challenges, Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Survey. *International Series in Operations Research & Management Science*, v. 78, n. 1, p. 3-24, 2005.
43. SA-NGUANDUAN, N.; NITITVATTANANON, V.. Strategic decision making for urban water reuse application: A case from Thailand. *Desalination*. v. 268, p. 141-149, 2011.
44. SCHULZ, M.; SHORT, M. D.; PETERS, G. M.. A streamlined sustainability assessment tool for improved decision making in the urban water industry. *Integrated Environmental Assessment and Management*. v. 8, n. 1, p. 183-193, 2011.
45. TASCA, J. E. .; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; ALVES, M. B. An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. *Journal of European Industrial Training*, v. 34, n. 7, p. 631 655, 2010.
46. VALMORBIDA, S. M. I.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; RIPOLL-FELIU, V. M. University Management with Focus on Multicriteria Performance Evaluation: Illustration in the Brazilian Context. *Globalization, Competitiveness & Governability*, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015.
47. ZAMCOPÉ, F. C. ENSSLIN, L. ENSSLIN, S. R.; DUTRA, A. Modelo para avaliar o desempenho de operadores logísticos - Um estudo de caso na indústria têxtil. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 4, p. 693-705, 2010.
48. XU, Y.-P.; TUNG, Y.-K.. Decision Rules for Water Resources Management under Uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*. v. 135, p. 149-159, 2009.