

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E SOCIAIS - CCJS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS -UACC
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS

AÍLA KATAMARA QUEIROGA NÓBREGA

**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL NO AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO: ESTUDO DE CASO NO RESERVATÓRIO SÃO GONÇALO-PB.**

SOUSA – PB

2017

AÍLA KATAMARA QUEIROGA NÓBREGA

**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL NO AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO: ESTUDO DE CASO NO RESERVATÓRIO SÃO GONÇALO-PB.**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Contábeis,
na Unidade Acadêmica de Ciências Contábeis da
Universidade Federal de Campina Grande, com requisito
para a conclusão do curso de Bacharel em Ciências
Contábeis.

Orientador: Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos

SOUSA – PB

2017

AÍLA KATAMARA QUEIROGA NÓBREGA

**UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL NO AUXÍLIO DE TOMADA DE
DECISÃO: ESTUDO DE CASO NO RESERVATÓRIO SÃO GONÇALO-PB.**

Data da Aprovação: 30/ 03 / 2017.

Banca Examinadora:

Orientador: Professor Dr. Valterlin da Silva Santos.

Cristiane Queiroz Reis

Ana Flávia Albuquerque Ventura

SOUSA – PB

2017

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais Zildo e Sandra e a minha irmã Ana Letícia que são fundamentais na minha vida. À minha vizinha querida Francisca que tanto amo e que é minha fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu alicerce e minha fortaleza em todos os momentos de dificuldade, me concedendo paciência e sabedoria para sempre seguir em frente, guiando meus passos e abrindo novos caminhos.

Ao meu querido orientador, o Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos, que no decorrer do curso tive o privilégio de conviver e adquirir tantos conhecimentos. Só tenho a agradecer-lo pela oportunidade de realizar este trabalho sob sua orientação, por sempre se dispor a me ajudar, tirando minhas dúvidas tão turvas da forma mais sábia possível e mesmo tão atarefado sempre dava um jeito de me atender. Afirmando sem sombra de dúvida que não poderia ter escolhido orientador melhor. Muito obrigada pela sua paciência e dedicação de sempre.

A todos os meus professores da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Sousa, por transmitirem todo o conhecimento necessário no decorrer da graduação e por serem fundamentais na minha formação. Cada um com suas particularidades, que vou levar tantas lembranças comigo das vivências em sala de aula, com muito carinho.

Aos meus pais pelo incentivo e amor incondicional, em especial a minha mãe que nos momentos de angústia e dificuldades sempre permaneceu ao meu lado, para eu não me abater diante dos obstáculos e lutasse com garra para alcançar meus sonhos e objetivos.

A minha avó Francisca por todos seus ensinamentos, conselhos e cuidados a mim concedidos durante toda a minha vida, sendo fundamental para a construção do meu caráter e a quem tenho tanta admiração.

A minha irmã Ana Letícia que mesmo tão pequena sempre me deu ânimo com seu amor, carinho e brilho sincero do seu olhar.

As minhas tias e primas queridas que sempre se dispuseram a me ajudar nos momentos que mais precisei e acreditaram na minha capacidade de sempre buscar meus sonhos.

A Patrício por todo amor, carinho, amizade e cuidado comigo. E por sempre me apoiar em todos os momentos da minha vida.

E a todos que de alguma maneira me ajudaram na realização desse sonho. Meus sinceros agradecimentos a todos.

Ainda que a minha mente e o meu corpo
enfraqueçam, Deus é a minha força, Ele é
tudo o que eu sempre preciso.

Salmos 73:26

RESUMO

O nordeste brasileiro está sofrendo as consequências da pior seca dos últimos 50 anos. O reservatório São Gonçalo, situado no município de Sousa – PB entrou em colapso em agosto de 2015, sendo que as populações das cidades abastecidas pelo reservatório sofreram com um racionamento de água de quatro dias além de perdas substanciais nas atividades agropastoris da região. Batista (2013) propôs 5 (cinco) alternativas para a melhor operação do reservatório para que tal fato não ocorra novamente. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a melhor alternativa, com o uso da análise multicriterial através da aplicação do método PROMETHEE II. Foram estabelecidos critérios de avaliação da utilização dos recursos hídricos do reservatório separados em duas dimensões (critérios referentes à utilização da água no reservatório e critérios de utilização da água pela agricultura irrigada). A subjetividade da decisão humana foi analisada através de 11 (onze) cenários possíveis de pesos para cada dimensão de critérios. Os resultados apontaram que as alternativas C5 e C4 são as únicas alternativas escolhidas para a operação do reservatório São Gonçalo, entretanto em todos os cenários a alternativa C6 se apresenta como uma boa alternativa a ser escolhida e as alternativas C2 e C3 configuraram como as piores alternativas a serem escolhidas dependendo do peso estipulado para as dimensões. Assim, percebeu-se o sucesso da aplicação da análise multicritério para a seleção de alternativas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Tomada de Decisão. Análise Multicritério.

ABSTRACT

Northeast Brazil is suffering the consequences of the worst drought of the last 50 years. The São Gonçalo reservoir, located in the municipality of Sousa - PB, collapsed in August 2015, and the population of the cities served by the reservoir suffered a four - day water rationing and substantial losses in agropastoral activities in the region. Batista (2013) proposed 5 (five) alternatives for the best operation of the reservoir so that this fact does not occur again. Therefore, this work was developed with the purpose of evaluating the best alternative, with the use of multicriteria analysis through the application of the PROMETHEE II method. Criteria for assessing the use of water resources in the reservoir were separated into two dimensions (criteria for the use of water in the reservoir and criteria for water use by irrigated agriculture). The subjectivity of the human decision was to analyze through 11 (eleven) possible scenarios of weights for each dimension of criteria. The results indicated that the alternatives C5 and C4 are the only alternatives chosen for the operation of the São Gonçalo reservoir, however in all scenarios the alternative C6 is presented as a good alternative to be chosen and the alternatives C2 and C3 configured as the worst alternatives To be chosen depending on the weight stipulated for the dimensions. Thus, it was noticed the success of the application of the multicriteria analysis for the selection of alternatives.

Keywords: Water Resources. Decision Making. Multicriteria Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Gráfico da evolução do volume de água do reservatório São Gonçalo nos últimos 10 anos	13
Figura 02 – Processo Decisório da Análise Multicriterial	17
Figura 03 – Passos para a Análise Multicriterial.....	18
Figura 04 – Localização do Açude São Gonçalo na Região do Alto Curso do Rio Piranhas	28
Figura 05 – Principais demandas do reservatório São Gonçalo	30
Figura 06 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 1	37
Figura 07 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 2	38
Figura 08 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 3	39
Figura 09 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 4	40
Figura 10 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 5	41
Figura 11 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 6	43
Figura 12 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 7	44
Figura 13 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 8	45
Figura 14 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 9	46
Figura 15 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 10	47
Figura 16 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 11	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Matriz de Avaliação.....	22
Tabela 02 – Dados referentes ao Reservatório São Gonçalo.....	29
Tabela 03 - Demanda média mensal do Perímetro Irrigado de São Gonçalo e da Irrigação difusa.....	31
Tabela 04 – Cenários e pesos atribuídos para cada dimensão	35
Tabela 05 – Funções de preferência e pesos para os critérios da dimensão agricultura irrigada	35
Tabela 06 – Funções de preferência e pesos para os critérios da dimensão reservatório	36
Tabela 07 – Matriz de avaliação.....	36
Tabela 08 – Ranking das alternativas para o cenário 1	38
Tabela 09 – Ranking das alternativas para o cenário 2	39
Tabela 10 – Ranking das alternativas para o cenário 3	40
Tabela 11 – Ranking das alternativas para o cenário 4	41
Tabela 12 – Ranking das alternativas para o cenário 5	42
Tabela 13 – Ranking das alternativas para o cenário 6	43
Tabela 14 – Ranking das alternativas para o cenário 7	44
Tabela 15 – Ranking das alternativas para o cenário 8	45
Tabela 16 – Ranking das alternativas para o cenário 9	47
Tabela 17 – Ranking das alternativas para o cenário 10	48
Tabela 18 – Ranking das alternativas para o cenário 11	49
Tabela 19 – Resumo da escolha das alternativas para todos os cenários	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivo Específico	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Processo de Tomada de Decisão	15
2.2 Métodos de Análise Multicritério.....	17
2.3 O Método PROMETHEE II	21
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
3.1 Descrição da área de estudo.....	28
3.2 Proposta de Operação do Reservatório São Gonçalo	32
3.3 Critérios de Avaliação	33
3.3.1 Critérios para a Agricultura Irrigada	33
3.3.2 Critérios para o Reservatório	33
3.3.3 Pesos dos Critérios e Funções de Preferência	34
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

A tomada de decisão é um desafio para qualquer situação que acarrete problemas e controvérsias de interesses. Por esse motivo é importante analisar várias alternativas, colher informações, dados, se valer de ferramentas para assim auxiliar a tomar a decisão diante do conhecimento prévio e escolher a alternativa que mais se adéqua aos objetivos a serem alcançados embasando para que assim a decisão tomada seja mais segura. (DUTRA; MOLIN, 2013)

A problemática da tomada de decisão nos dias atuais é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios conflitantes, dentre os quais os decisores necessitam selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas a serem selecionadas, considerando múltiplos critérios. (ARAÚJO; ALMEIDA, 2009).

Com relação aos recursos hídricos, o processo de tomada de decisão envolve muitas variáveis e tem se desenvolvido cada vez mais para a resolução de conflitos, isso ocorre devido ao aumento da necessidade e da multiplicidade de usos. O processo de tomada de decisão está rodeado de incertezas, as quais irão influenciar os resultados obtidos de acordo com os processos de elaboração, formulação e modelação da tomada de decisão. E para minimizar as incertezas no processo de tomada de decisão existem técnicas e ferramentas que vem se desenvolvendo cada vez mais, auxiliando na eficiência das decisões. (CHAVES, 2004)

Para a gestão e planejamento dos recursos hídricos são utilizadas várias ferramentas e métodos, com o intuito de dar suporte à tomada de decisão, direcionadas para a gestão continuada e ajustada ao uso coerente desses recursos. Tendo em vista que a utilização de recursos hídricos envolve interesses múltiplos e conseqüentemente conflitantes, vários são os atores e agentes que estão envolvidos e atuam no processo de decisão. (POMPERMAYER; JÚNIOR; NETTO, 2007)

A análise multicriterial é uma ferramenta de grande valia para auxiliar na tomada de decisão, tendo em vista a necessidade de avaliar uma alternativa através de vários critérios para assim tomar uma decisão mais segura. Tal análise busca elencar as alternativas mediante os fatores de relevância levantados anteriormente, para assim alcançar a melhor alternativa diante dos problemas encarados. (CAMPOS, 2011)

O nordeste brasileiro está sofrendo as conseqüências da pior seca dos últimos 50 anos. O reservatório São Gonçalo, situado no município de Sousa – PB, entrou em colapso em

agosto de 2015, sendo que a população das cidades abastecidas pelo reservatório sofreram com um racionamento de água de quatro dias além de perdas substanciais nas atividades agropastoris da região.

Diante dessa escassez hídrica enfrentada, Batista (2013) propôs 5 (cinco) alternativas para a melhor operação do reservatório para que tal fato não ocorra novamente. Logo este trabalho tem o seguinte questionamento: Qual a melhor alternativa de utilização dos recursos hídricos do reservatório São Gonçalo?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a melhor alternativa baseada na análise multicriterial composta por indicadores de utilização dos recursos hídricos do Reservatório São Gonçalo, como ferramenta de auxílio na tomada de decisão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir de critérios e parâmetros para análise das alternativas propostas.
- Aplicar do método multicriterial Promethee II para a escolha da melhor alternativa.
- Analisar a sensibilidade da escolha das alternativas em função das preferências dos critérios.

1.2 JUSTIFICATIVA

O reservatório São Gonçalo é responsável pelo abastecimento das cidades de Sousa, Marizópolis, Nazarezinho, do distrito São Gonçalo, e dos Núcleos Habitacionais I, II e III. Além disso, a água também serve ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo, onde são cultivadas diversas culturas, tanto permanentes, como coco, banana, capim, goiaba, acerola, manga, graviola e caju, quanto temporárias, como milho, feijão e batata.

Devido à pior seca de sua história, a região do reservatório está sofrendo com a falta de água tanto na zona rural como na zona urbana, além de um grande impacto na criação de animais e culturas agrícolas, enfatizando que a agricultura familiar é uma das principais fontes de renda da região.

A Figura 01 apresenta o volume de água do reservatório São Gonçalo nos últimos 10 anos. Observa-se uma queda acentuada do volume de água do reservatório desde junho de 2011, sendo que em 16 de agosto de 2015 volume de água atingiu o volume morto do reservatório de 2,982 milhões de metros cúbicos.

Figura 01 – Gráfico da evolução do volume de água do reservatório São Gonçalo nos últimos 10 anos



Fonte: AESA (2017)

Com o intuito de prolongar a quantidade da água do reservatório São Gonçalo foi implantado um racionamento do uso da água do reservatório. Inicialmente, em 26 de Janeiro de 2015, foi proibida a retirada de água destinada a irrigação para as atividades econômicas voltadas a agricultura. Em 1º de Junho de 2015 iniciou-se o racionamento da cidade de Sousa com a interrupção do abastecimento de água nos sábados e domingos. (Diário do Sertão, 2015)

Com apenas 7% da capacidade foi feito racionamento através de rodízio por bairros, sendo que em algumas localidades, a comunidade ficava sem água entre três a cinco dias seguidos. Chegando a marca de 5,6% da capacidade o açude estava perdendo em média de 0,2 a 0,4% de seu volume por semana, chegando a situação crítica de ver em alguns pontos montes de areia, assim com o volume completamente comprometido o abastecimento teve que ser feito através da adutora

do Pintado e a comunidade precisou recorrer também a utilização de carros pipas onde a distribuição de água não conseguia ser feita adequadamente. (Diário do Sertão, 2015)

Diante do exposto, destaca-se a importância do planejamento para proporcionar uma melhor utilização dos recursos hídricos, de forma a satisfazer todos os seus usuários. É fundamental, sobretudo, em regiões que apresentam a escassez de água, já que os problemas oriundos dessa escassez tendem a se agravar caso não sejam implantadas políticas adequadas de uso dos recursos hídricos (BERBERT, 2003).

Batista (2013) propôs regras de operação para o reservatório São Gonçalo baseadas no atendimento satisfatório dos usuários, de acordo com as prioridades e condições estabelecidas. Os resultados obtidos mostraram que com a implantação de uma política de planejamento e controle do reservatório é possível garantir o atendimento sustentável das demandas de abastecimento humano. Com relação a demanda para a agricultura irrigada tem-se que as políticas de operações influenciam no grau de atendimento dessas demandas. Entretanto não foi possível estabelecer qual a melhor regra operacional para o reservatório

Desta forma a análise multicritério é um método de análise de apoio a tomada de decisão que consiste em comparar várias alternativas diante de entraves encontrados. (CHAVES et al., 2010). Ela vem sendo utilizada em várias áreas de pesquisa, e principalmente nas questões envolvendo o problema da escassez hídrica. (CARVALHO; CURI, 2014) (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010) (ZUFFO et al. 2002) (MORAIS; ALMEIDA, 2006)

Um método com bastante aplicações da análise multicriterial é o método promethee II. Tal ferramenta agrupa par a par os indicadores observados e monta um ranking indicando da melhor à pior alternativa, desta forma sua utilização apoia consideravelmente a tomada de decisão mediante vários critérios (MOURA; COSTA, 2012).

Para Almeida (2013) apud Carvalho et al (2015) a estrutura de avaliação dos métodos PROMETHEE é baseada na definição de pesos para todos os critérios, para que a partir destes pesos, possa-se obter o grau de sobreclassificação de uma alternativa em relação à outra, sendo isso realizado para cada par de alternativas. Assim, o método realiza um comparação par-a-par entre as alternativas.

Com o PROMETHEE II é obtida uma pré-ordem completa indo desde a melhor alternativa até a pior delas. Para tanto é utilizado um fluxo líquido obtido por meio da diferença entre um fluxo positivo e um fluxo negativo. Este fluxo líquido representa o balanço entre a força e a fraqueza de cada alternativa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Segundo Bana e Costa (1988) citado por Campos (2011) O processo pode ser dividido em duas fases, sendo uma de análise do sistema e a outra fase a avaliação do sistema propriamente dita, que pode ser nomeada também de síntese. A primeira consiste em identificar, caracterizar e classificar os principais integrantes e a esclarecimento das alternativas de decisão que se objetiva comparar entre si, e a segunda em esclarecer a escolha através da utilização de métodos multicritérios para auxiliar na modelagem das preferências dos atores e sua combinação.

Campos (2011) relata que no processo de tomada de decisão é preciso conhecer todos os componentes envolvidos no processo, sendo eles as alternativas, critérios e tipos de problemáticas, e também a questão dos integrantes, que são os atores, agentes de decisão e analistas, desta forma contribui para a evolução da modelagem do processo de decisão. Então, em muitos problemas de decisão os critérios ou atributos são utilizados como parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas já que os problemas envolve mais de um objetivo a ser atingido.

Assim a definição dos atributos é fundamental para a qualidade da tomada de decisão, tendo em vista que os atributos servem de apoio a avaliação e evidenciam um conjunto de regras, para avaliar as preferências entre um par de alternativas de acordo com a visão do tomador de decisão. Outro fator importante também seria a questão de analisar quais as relações entre os critérios e alternativas, para detectar alguns critérios que podem ser subcritérios ou mesmo não serem significantes para o processo. Desta forma a participação do analista é considerada fundamental para contribuir na estruturação do processo de decisão e perceber que de acordo com o tempo as preferencias dos decisores podem mudar.

Se falando em resolver problemas que envolvam várias alternativas, o apoio a decisão multicritério tem a finalidade de oferecer ao decisor ferramentas que auxiliem na resolução de tais problemas.

Para Roy (1996) citado por Araújo (2016) o apoio a tomada de decisão multicritério é a atividade que ajuda a obter elementos que respondam as questões levantadas pelos decisores, onde tais elementos tornarão a decisão mais clara e auxiliarão na evolução do processo de forma mais consistente, assim tal metodologia leva em consideração as

características e a subjetividade apoiando os decisores para melhor conhecer seu problema e seus objetivos.

Se falando em gestão de recursos hídricos tomar decisão é uma tarefa complexa já que tais decisões envolvem múltiplos objetivos e os impactos decorrentes são difíceis de serem identificados corretamente, seja em grupo ou individualmente. (CARVALHO, 2013)

O processo de tomar decisões parece ser simples, porém por mais corriqueiro que seja envolve ganhos e perdas onde muitas vezes se torna difícil de se prever. Assim no processo de decisão de uma mesma situação podem gerar decisões distintas e resultados distintos em diferentes níveis de importância dependem do momento no tempo e de outros diversos fatores opostos. (COSTA; SILVA, 2016)

Os métodos de apoio a decisão possuem a habilidade de associar todas as características consideradas importantes, observando tanto a perspectiva científica como de cunho subjetivo, assim possibilitando a transparência e o ordenamento referente aos problemas no processo de tomada de decisão. Desta forma vale salientar que a análise multicritério não apresenta uma solução definitiva para o problema, mas sim mediante as alternativas analisadas a mais coerente, buscando assim a otimização do processo de tomada de decisão. (TROJAN, 2012)

O objetivo principal da tomada de decisão multicritério é resolver a questão das escolhas das alternativas para que suas consequências sejam as mais favoráveis possíveis, para isso utiliza-se de modelos matemáticos.

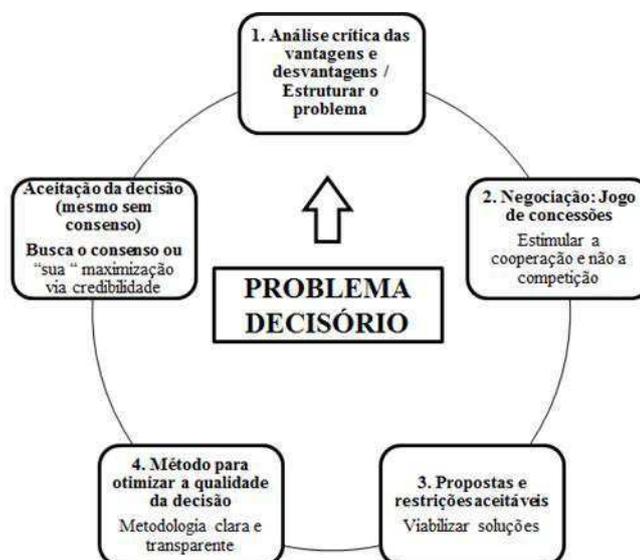
Por volta da década de 1970, surgiram os primeiros métodos multicritério de apoio à decisão tendo como finalidade auxiliar o decisor a resolver problemas com objetivos conflitantes e também dar suporte em todo o processo de decisão tornando os elementos envolvidos no processo explícitos e os resultados das ações potenciais. Assim para os problemas com objetivos múltiplos era utilizada uma abordagem diferenciada, e tal metodologia possibilitava uma visão multidirecional dos problemas, como também integrava procedimentos bem diferentes. (CAMPOS, 2011)

2.2 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Os métodos multicritérios visam apoiar o processo decisório (não necessariamente prover uma solução). Curi e Curi (2010a) argumentam que os objetivos da análise multicriterial concentram-se basicamente em estruturar o problema e no processo de escolha entre duas ou mais alternativas de decisão.

Na estruturação do problema, os maiores desafios estão na representação e organização formalizada do problema para aprendizagem, investigação/análise, discussão e busca da solução. Por sua vez, na escolha entre duas ou mais alternativas surgem alguns problemas, por exemplo: leva-se em consideração diferentes critérios (consequências); podem ser contraditórios; podem existir vários decisores e diferentes opiniões; incorpora-se os juízos de valores dos decisores; a solução pode não satisfazer a todos decisores; usa-se dados qualitativos ou quantitativos (até com diferentes ordens de grandeza); pode-se ter mais de uma “solução ótima”. A figura 02 evidencia as fases da análise multicritério.

Figura 02 – Processo Decisório da Análise Multicriterial

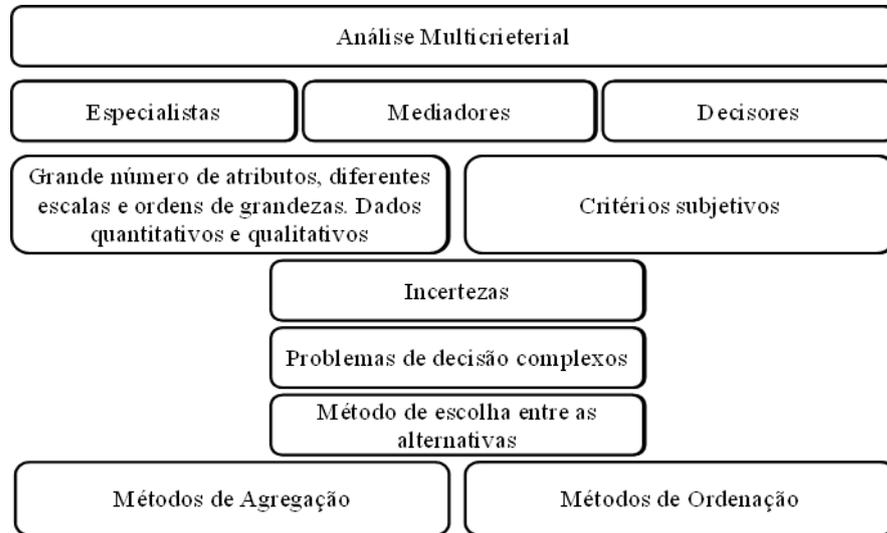


Fonte: Adaptado de Curi e Curi (2010a).

Nesse sentido, o que se pode perceber após tais entendimentos é que o processo de decisão como suporte à gestão dos recursos hídricos do reservatório São Gonçalo pode levar em consideração o uso dessas técnicas multicriteriais, afinal envolvem múltiplos usuários e múltiplas variáveis o que o torna algo complexo e de difícil resolução. Isso porque a tentativa de resolver problema(s) a partir de objetivos conflitantes e com vários entendimentos pode acarretar uma abrangência diversa.

As etapas relacionadas ao uso das técnicas de análise multicriterial podem ser visualizadas na figura 03, conforme o entendimento de Curi e Curi (2010_b).

Figura 03 – Passos para a Análise Multicriterial.



Fonte: Adaptado de Curi e Curi (2010_b).

Para que a escolha do método multicritério seja realizada adequadamente é importante considerar a natureza do problema em questão, tipos de critérios, maneira pela qual vai ser conduzida a modelagem de preferência e as preferências do decisor. É interessante evitar que tal escolha seja tomada apenas por questões de facilidade de aplicação de um software ou simplesmente por popularidade, já que uma modelagem de preferência eficiente é essencial na metodologia multicritério, e dessa forma não estaria sendo empregada adequadamente.

Desta forma, para a escolha da técnica a ser utilizada deve ser considerada a aplicabilidade do método ao problema em questão e levar em consideração as preferências dos decisores envolvidos, não deixando de lado também as vantagens e desvantagens de tal método. Portanto para cada problema existirá um método mais apropriado que servirá de apoio a decisão mediante vários critérios elencados. Desta forma, a grande vantagem da análise multicritério é que independente da escolha do método, é que ela está ampara em uma modelagem robusta e transparente, apresentando premissas e preferências dos decisores relacionado aos objetivos considerados durante o processo decisório. (FRANKLIN; FERNANDES, 2012)

A metodologia Multicritério de apoio à tomada de decisão busca estruturar os problemas de contextos complexos para apoiar o decisor na escolha da melhor alternativa a

partir de um conjunto de critérios mediante as percepções do decisor, além de buscar gerar conhecimento, possibilitando assim um melhor entendimento das variáveis que envolvem a tomada de decisão. (DUTRA; MOLIN, 2013)

Se tratando do planejamento e gestão dos recursos hídricos são utilizadas várias ferramentas e métodos como instrumentos de suporte à tomada de decisão, conduzidas para a gestão continuada e integrada do uso consciente desses recursos. (POMPERMAYER, 2003)

Com essa finalidade existem muitos métodos de apoio a decisão multicritério diferentes, tais métodos podem ser propostos de acordo com as situações identificadas auxiliando assim na escolha das alternativas de acordo com a definição e avaliação dos critérios. (JÚNIOR et al., 2011)

Na análise multicritério para que se possa alcançar o objetivo final são considerados diversos dimensões para avaliar o desempenho de cada alternativa com relação a cada um dos objetivos estabelecidos. (CHAVES et al., 2010)

O método AHP é uma técnica bastante utilizada como ferramenta para auxiliar no apoio à decisão e na resolução de conflitos. Tal método decompõe o problema em questão hierarquicamente, assim acarretando maior facilidade se tratando da compreensão, estruturação e avaliação. O que torna a escolha desse método vantajoso é a questão de como os decisores expressam suas preferências, assim proporcionando uma melhor interação e facilidade para os agentes envolvidos no processo, levando em consideração que se está lidando com várias pessoas, interesses e níveis de conhecimentos diversos. (FRANKLIN; FERNANDES, 2012)

O método ELECTRE I é considerado um método de eliminação sequencial, tendo em vista que sua finalidade é escolher os sistemas que são preferidos pela maioria dos critérios e que não causam nenhuma inaceitabilidade para qualquer um dos critérios analisados. (ZUFFO et al., 2002)

O método ELECTRE II tem como finalidade escolher aqueles sistemas que são selecionados pela maioria dos critérios e que não ultrapassem um determinado nível de desconforto ou desagrado aceito pelo decisor, para nenhum dos critérios analisados. Tal método no final resulta um ranking das alternativas não-dominadas sendo indicado para problemáticas de ordenação. (CHAVES et al., 2010)

O ELECTRE III possui procedimentos semelhantes ao ELECTRE II, porém sua aplicação está voltada para pseudocritérios. Este método é utilizado para problemas de ordenação em casos que existe apenas um decisor, permitindo o estabelecimento de condições de indiferença e preferências entre duas ações quando o decisor não é capaz ou se recusa a

realizar comparações entre ambas. Assim tal método permiti analisar situações de indecisão ou dúvida. (CAMPOS, 2011)

O ELECTRE IV é voltado para problemas de ordenação que não necessitem de uso de pesos. Geralmente isso ocorre quando existe dificuldade para definir as ponderações dos atributos. Tal método é semelhante com o ELECTRE III, apenas nos procedimentos iniciais de modelagem de preferências, sendo considerado os limites de preferências, indiferenças e de veto para cada critério. Feito a determinação desses parâmetros, as situações de superação são elaborada sem conformidade com as duas relações de preferências fortes e fracas. (CAMPOS, 2011)

O método ELECTRE TRI é utilizado no auxílio da resolução de problemas de classificação. Tal classificação é conseguida através da comparação entre as alternativas considerando determinada norma, referência ou padrão definido pelo decisor. Desta forma é estabelecida por meio de duas fases, sendo a primeira construir uma relação de sobreclassificação com o intuito de decidir se a alternativa supera o perfil definido pelo decisor, e a segunda analisa tal relação para alcançar a classificação esperada. (CAMPOS, 2011)

O método MACBETH realiza a comparação sempre aos pares da diferença de interesses entre duas linhas de ação quaisquer, sendo obtidas funções por meio de julgamentos semânticos. Assim tal procedimento tenta contornar as limitações encontradas em outros métodos, tendo em vista que simplifica o julgamento do decisor, pelo fato de não precisar avaliar simultaneamente todo o conjunto de ações. (CHAVES et al., 2010)

Segundo Morais e Almeida (2006) este método foi proposto pela primeira vez em 1982 por Brans & Vincke, e desde então não deixou de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares (Brans *et al.*, 1986), tendo sido aplicado com sucesso em vários problemas de diferentes naturezas (Cavalcante & Almeida, 2005; Almeida & Costa, 2002; Ülengin *et al.*, 2001; Raju & Kumar, 1999).

As seguintes implementações do PROMÉTHÉE são descritas na literatura (; Brans *et al.*, 1986; Taleb & Mareschal, 1995):

- PROMETHEE I – estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas, utilizado para problemática de escolha.
- PROMETHEE II – estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, utilizado para problemática de ordenação.
- PROMETHEE III – ampliação da noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar).

- PROMETHEE IV – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizado para problemática de escolha e ordenação destinadas às situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo.
- PROMETHEE V – nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas, com o PROMETHEE II, são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira.
- PROMETHEE VI – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizada para problemática de escolha e ordenação. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
- PROMETHEE – GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

2.3 O MÉTODO PROMETHEE II

O Método PROMETHEE é baseado na relação hierárquica que consiste em melhorar a ordem de dominância, através de comparações par-a-par. Este processo segue quatro etapas distintas:

- estruturação hierárquica;
- estabelecimento das funções de preferência;
- formação da matriz de avaliação e fluxos de importância;
- classificação das alternativas.

A análise multicriterial apresenta uma melhor compreensão quando estruturada na forma de matriz, que é denominada de matriz de avaliação ou de impacto, conforme mostrada na Tabela 01:

Em síntese, cada uma das **n** alternativas de solução é avaliada de acordo com os **p** critérios estabelecidos no processo decisório.

Os critérios de avaliação das alternativas representam a especificação dos objetivos em características e qualidades, em medidas adequadas de desempenho das soluções de planejamento. Na análise, há uma comparação de cada alternativa com todas as demais, com estabelecimento de uma hierarquia que aponta o conjunto das soluções de maior atratividade

(*não-dominadas*) e a escolha da *solução de melhor compromisso* e, ainda melhor, a *solução mais adequada*, em termos de melhor atendimento do conjunto dos objetivos e sob os critérios fixados para a análise (BRAGA, 2001).

Tabela 01 - Matriz de Avaliação

		Alternativas				
		x ₁	x ₂	x ₃	.....	x _n
Critérios	1	$f_1(x_1)$	$f_1(x_2)$	$f_1(x_3)$	.....	$f_1(x_n)$
	2	$f_2(x_1)$	$f_2(x_2)$	$f_2(x_3)$	.....	$f_2(x_n)$
	3	$f_3(x_1)$	$f_3(x_2)$	$f_3(x_3)$	.....	$f_3(x_n)$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	p	$f_p(x_1)$	$f_p(x_2)$	$f_p(x_3)$	.....	$f_p(x_n)$

Fonte: SANTOS, 2009

As relações de preferência podem ser expressas em termos de uma função de preferência $P_j(di(a,b))$ para cada critério “i” e tipo $j = I, II, III, IV, V$ e VI . Esta função cujo valor está compreendido entre 0 e 1, indica a intensidade da preferência de uma alternativa “a” sobre uma alternativa “b” com relação aos desvios de valores:

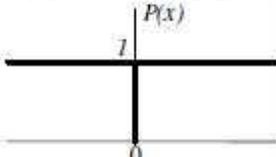
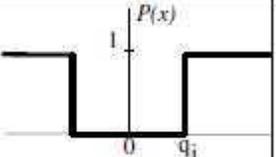
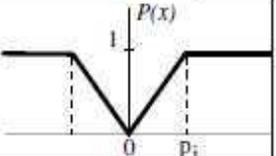
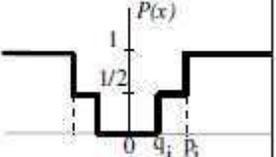
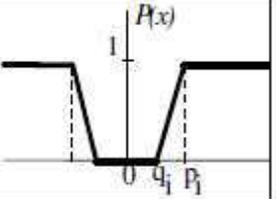
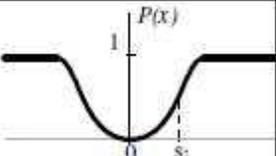
$$di(a,b) = (-1)^k [f_i(a) - f_i(b)] \quad (1)$$

Onde: $k = 0$, se deseja maximizar; e

$k = 1$, se deseja minimizar o valor do critério i.

O valor 1 indica a preferência absoluta de uma alternativa sobre a outra com relação a um dado critério. As funções de preferência, ilustradas no Quadro 01, são normalmente definidas para o método PROMETHEE. Para cada uma delas são fixados, no máximo, dois parâmetros que representam para cada tipo de função o seguinte (Braga e Gobetti, 1997):

Quadro 01 - Formas para função de preferência

Função para o critério <i>i</i>	Gráfico <i>bP_ia</i> <i>aP_ib</i>	Parâmetros necessários
Tipo I $P_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i = 0 \\ 1 & \text{se } x_i \neq 0 \end{cases}$		-
Tipo II $P_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > q_i \end{cases}$		q_i
Tipo III $P_{III}(x_i) = \begin{cases} |x_i| / p_i & \text{se } |x_i| \leq p_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > p_i \end{cases}$		p_i
Tipo IV $P_{IV}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ 1/2 & q_i < |x_i| \leq p_i \\ 1 & |x_i| > p_i \end{cases}$		q_i, p_i
Tipo V $P_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ \frac{|x_i| - q_i}{p_i - q_i} & q_i < |x_i| \leq p_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > p_i \end{cases}$		q_i, p_i
Tipo VI $P_{VI}(x_i) = 1 - e^{-x_i^2 / 2s_i^2}$		s_i

Fonte: SANTOS, 2009

TIPO I (Usual): Quando o desvio $d(a, b)$ entre as alternativas “*a*” e “*b*” for maior que zero, isto é, para a alternativa “*a*” o critério “*i*” assumir maior valor, a função de preferência assume valor um, neste caso a alternativa “*a*” é preferível a “*b*”. Caso contrário, a função de preferência é zero e não existe preferência absoluta da alternativa “*a*” sobre a alternativa “*b*”.

Simbolicamente: Se $d(a,b) > 0$, então $P(a,b) = 1$, caso contrário $P(a,b) = 0$.

TIPO II (U-shape): O intervalo delimitado por $x_i \leq q_i$, caracteriza uma região de indiferença com relação a preferência da alternativa “*a*” sobre a alternativa “*b*”, relativo ao critério “*i*” e

a função de preferência assume o valor “0”. Para desvios maiores que q_i a função de preferência é igual a “1” e a alternativa “a” tem preferência absoluta sobre a alternativa “b”.

Simbolicamente: Se $d(a, b) > q_i$, então $P(a, b) = 1$, caso contrário $P(a, b) = 0$.

TIPO III (V-shape): No intervalo compreendido entre $q_i \leq p_i$, é estabelecido uma aumento linear da intensidade da preferência da alternativa “a” sobre a alternativa “b”, proporcional ao desvio de valores do critério i . A partir deste valor a alternativa “a” passa a ter preferência absoluta sobre a alternativa “b”. Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$, caso contrário $P(a, b) = (1/p_i) * d(a, b)$.

TIPO IV (Nível): A função ‘tipo escada’ assume indiferença quando o desvio $q_i \leq d(a, b)$; no intervalo delimitado por $q_i < d(a, b) \leq p_i$, a alternativa “a” tem a mesma preferência que a alternativa “b” e, a partir de p_i , a alternativa “a” tem preferência absoluta sobre a alternativa “b”.

Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$,

Se $d(a, b) \leq q_i$, então $P(a, b) = 0$,

Se $q_i < d(a, b) \leq p_i$, então $P(a, b) = 0,5$.

TIPO V (Linear): Quando o desvio $d(a, b)$ entre as alternativas “a” e “b” assumir valor maior que o parâmetro p_i , a função de preferência assume o valor 1, isto é, a alternativa “a” é preferível à alternativa “b”; quando $q_i < d(a, b) \leq p_i$, a intensidade da preferência da alternativa “a” aumenta linearmente sobre a alternativa “b”; e, quando $d(a, b)$ for menor que o parâmetro q_i , a alternativa não é preferível à alternativa “b”.

Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$,

Se $d(a, b) \leq q_i$, então $P(a, b) = 0$,

Se $q_i < d(a, b) \leq p_i$, então $P(a, b) = (1/(p-q)) * (d(a, b) - q)$.

TIPO VI (Gaussiana): A intensidade da preferência aumenta continuamente, de forma exponencial, de 0 até 1. O parâmetro “ s_i ” indica a distância da origem até o ponto de inflexão da derivada da função.

O método PROMETHEE é baseado em comparações par-a-par. O primeiro passo para a sua aplicação é a definição dos índices de preferência agregados e fluxos de hierarquização.

Índice de preferência agregado: sejam $a, b \in A$, e:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)\alpha_j \quad (2)$$

Onde:

α_j são os pesos para cada critério.

$\pi(a, b)$ expressa como e com que grau “ a ” é preferível a “ b ” sobre todos os critérios e

$\pi(b, a)$ expressa como “ b ” é preferível a “ a ”. Usualmente tem-se $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ positivos, e com as seguintes propriedades:

$$\begin{cases} \pi(a, a) = 0 \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \end{cases} \quad \forall a, b \in A \quad (3)$$

Fluxos de importância: o índice de preferência global possibilita a avaliação decada alternativa “ a ”, face a $(n-1)$ alternativas em “ a ”. Para tanto, define-se dois fluxos de importância, como seguem:

• *Fluxo de importância positivo:*

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (4)$$

O fluxo de importância positivo expressa como uma alternativa “ a ” supera as demais, ou melhor, é o caractere de importância de “ a ”. O maior valor de $\Phi^+(a)$

• *Fluxo de importância negativo:*

$$\Phi^{-}(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (5)$$

Expressa como uma alternativa “a” é superada pelas outras. $\Phi^{-}(a)$ representa a fraqueza de “a”.

A ordenação das alternativas é feita com base nos valores de $\Phi^{+}(a)$ e $\Phi^{-}(a)$. Uma ordenação parcial das alternativas é alcançada em PROMETHEE I e uma ordenação total em PROMETHEE II.

O balanço entre os fluxos de importância positivo e negativo proporciona a escolha baseada no maior fluxo líquido de preferência. O maior valor corresponderá a melhor alternativa:

$$\Phi(a) = \Phi^{+}(a) - \Phi^{-}(a) \quad (6)$$

A ordenação completa para o método PROMETHEE II é determinada por:

“a” é preferido à “b” (*a PII b*) se $\Phi(a) > \Phi(b)$

“a” é indiferente à “b” (*a III b*) se $\Phi(a) = \Phi(b)$

O método PROMETHEE é de fácil aplicação, envolvendo ao mesmo tempo uma análise mais completa e explícita e apresenta, ainda, a grande vantagem de associar as incertezas inerentes ao sistema com o método.

O método PROMETHEE determina as preferências entre as alternativas discretas para cada critério, assim elabora uma função de preferências que se baseiam na intensidade da preferência de uma alternativa em relação a outra. (ARAÚJO; ALMEIDA, 2009)

O método PROMETHEE II é um método simples e de fácil entendimento utilizado como ferramenta para o auxílio a tomada de decisão que atende a problemática de escolha de alternativas e esclarece o problema apoiando o processo de decisão. (ARAÚJO; ALMEIDA, 2009)

Carvalho, Curi e Curi (2013) realizaram um estudo de caso através da aplicação do método Promethee II para analisar as condições de sustentabilidade hidroambiental em 30 municípios localizados na região da sub-bacia hidrográfica do baixo curso do Rio Paraíba, PB. Assim nos seus estudos observou que o modelo desenvolvido apresentou sensibilidade à variação dos parâmetros utilizados devido aos tipos de critérios gerais adotados pelo método.

Albuquerque e Núñez (2010) utilizaram a avaliação do Método de Análise Multicriterial PROMETHEE II, a partir da hierarquização de 23 trechos de rodovias diferentes no estado da Paraíba avaliando três cenários diferentes, envolvendo critérios técnicos, sociais, econômicos, ambientais e de tráfego levando em consideração a priorização para manutenção de pavimentos.

Araújo e Almeida (2009) utilizaram uma aplicação numérica da metodologia PROMETHEE II com o auxílio do software DecisionLab, oferecendo aos decisores um ranking completo de estratégias para auxiliar na tomada de decisão em investimentos em petróleo e gás em áreas situadas na Bacia Potiguar. Concluíram que os resultados obtidos foram compatíveis com a proposta tal proposta.

Carvalho e Curi (2014) aplicaram o método PROMETHEE II no estudo de caso para definição de uma escala de avaliação das condições da gestão dos recursos hídricos em 19 municípios localizados na sub-bacia hidrográfica do médio curso do rio Paraíba durante o ano de 2013. E obtiveram uma ordenação através do método que demonstrou a desigualdade entre os municípios localizados nessa região.

Baran (2015) utilizou o método PROMETHEE II para propor um modelo para determinação da criticidade em processos industriais. Na ordenação obtida através do modelo desenvolvido permitiu aos decisores priorizar os equipamentos e ações a serem executadas nas classes com criticidade intermediária, assim tal método apresentou-se de fácil entendimento para os decisores, tendo em vista que através dos seis tipos de critérios generalizados estabeleceu a associação gráfica das preferências.

Carvalho et al. (2015) aplicaram o método de sobre classificação PROMETHEE II por meio de uma abordagem multicritério de apoio a decisão com o objetivo de identificar alternativas em prol da sustentabilidade, priorizando as atividades que serão executadas em primeira instância, ordenando da melhor alternativa para a pior.

O método PROMETHEE II apresenta vantagens importantes a serem consideradas, já que permite a avaliação de cenários diferentes inserindo diferentes critérios de interesses na análise, assim fornece muitas informações relevantes para auxiliar na tomada de decisão, além de obter uma aplicação de fácil entendimento. (ALBUQUERQUE; NÚÑEZ, 2010)

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O sistema hídrico estudado neste trabalho corresponde ao Reservatório São Gonçalo (Figura 04), localizado entre os municípios de Sousa, Marizópolis e Nazarezinho, na região do Alto Sertão do Estado da Paraíba. O reservatório pertence à Região do Alto Curso do Rio Piranhas uma das sub-bacias do Rio Piancó-Piranhas-Açu, situando-se entre as latitudes $6^{\circ}36'47''$ e $7^{\circ}22'56''$ Sul e, entre as longitudes $37^{\circ}48'15''$ e $38^{\circ}38'15''$ Oeste no Sertão Paraibano.

Figura 04 - Localização do Açude São Gonçalo na Região do Alto Curso do Rio Piranhas.



Fonte: Adaptado de PDRH/PB, SCIENTEC, 1997 apud Batista (2013).

O reservatório São Gonçalo teve sua construção iniciada em 1935, época em que diversas obras hidráulicas começaram a ser implantadas no intuito de mitigar os problemas da escassez de água na região Nordeste do Brasil. A finalidade principal do açude seria o abastecimento humano; hoje, é responsável pelo abastecimento hídrico dos aglomerados urbanos de Sousa, Marizópolis, Distrito São Gonçalo, e Núcleos Habitacionais I, II e III. Além disso, a água também é utilizada pelo Perímetro Irrigado de São Gonçalo, onde são

desenvolvidas diversas culturas agrícolas, tanto permanentes, como coco, banana, capim, goiaba, acerola, manga, graviola e caju, quanto temporárias, como milho, feijão e batata.

Abaixo alguns dados técnicos do reservatório São Gonçalo, segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba - PDRH/PB (SCIENTEC 1997) podem ser observados no Tabela 02:

Tabela 02 - Dados referentes ao Reservatório São Gonçalo.

Volume máximo (m ³)	44.600.000
Volume morto (m ³)	2.982.000
Altura (m)	25,30
Comprimento (m)	380,00
Material	Terra
Área da bacia hidráulica (ha)	700
Área da bacia hidrográfica (km ²)	315
Largura do vertedor (m)	230
Vazão máxima – vertedor (m ³ /s)	1800

Fonte: PDRH/PB (SCIENTEC, 1997).

Segundo Farias (2004) as principais características hidroclimáticas da região do reservatório São Gonçalo são:

- A temperatura média mensal de 26,6 C°;
- A umidade relativa do ar tem média mensal em torno de 62%, tendo como períodos de menor umidade os meses de outubro e novembro;
- A insolação média mensal é de 8,7 horas por dia;
- A velocidade média do vento fica em torno de 1,7 m/s; são normalmente ventos fracos ou moderados, com direções sudeste e nordeste;
- Os dados sugerem uma taxa média anual de evapotranspiração da ordem de 2.937 mm;
- Os dados mostram uma precipitação média anual por volta de 800 mm, sendo os meses de fevereiro, março e abril os meses de maior precipitação.

Segundo Batista (2013) o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que juntamente com os órgãos estaduais de gestão hídrica, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) são responsáveis pela administração dos recursos hídricos do açude público federal de São Gonçalo. Esses órgãos fazem o monitoramento frequente da situação do reservatório.

As principais demandas hídricas (Figura 05) a serem supridas pelo reservatório São Gonçalo foram o abastecimento dos Municípios de Sousa (Distrito Sede, Distrito São Gonçalo e Núcleos Habitacionais I, II e III) e do Município de Marizópolis; a demanda para abastecimento difuso de comunidades localizadas próximas aos reservatório; a demanda para a irrigação do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), localizado a jusante do reservatório; bem como a água retirada de forma pelos irrigantes que vivem ao redor do reservatório, conhecida como irrigação difusa, sendo essa não controlada pelos órgãos gestores do reservatório. (BATISTA, 2013)

Figura 05 - Principais demandas do reservatório São Gonçalo.



Fonte: AESA, 2013 apud BATISTA, 2013

Segundo Batista (2013) a demanda hídrica para a finalidade de abastecimento urbano de Sousa, Marizópolis, São Gonçalo e Núcleos I, II e III captada no reservatório São Gonçalo é da ordem de a 13,8 mil m³/dia, (0,16 m³/s). O abastecimento difuso diz respeito a algumas

pequenas comunidades que existem próximas a área do açude e que se utiliza de sua água para consumo humano e animal. Assim sendo, para a operação do reservatório, esta é considerada uma demanda com prioridade igual ao abastecimento urbano, já que refere a consumo humano e animal. A demanda para esta finalidade foi é da ordem de 0,002 m³/s.

Quanto à demanda do Perímetro Irrigado de São Gonçalo e da irrigação difusa, considerou-se uma demanda média mensal variável, conforme está representado na Tabela 03, proposta pelos técnicos da ANA. Porém, em períodos de escassez hídrica, o volume liberado para uso no PISG corresponde apenas à chamada irrigação de salvação, que corresponde a 60% do volume liberado normalmente, e que tem por objetivo evitar que as culturas permanentes já estabelecidas no perímetro sejam perdidas. (BATISTA, 2013)

Tabela 03 - Demanda média mensal do Perímetro Irrigado de São Gonçalo e da Irrigação difusa.

Meses	Volume Demandado (m ³ /s)		Volume liberado para “irrigação de salvação” (m ³ /s)	
	PISG	Irrigação difusa	PISG	Irrigação difusa
Janeiro	1,30	0,07	0,78	0,04
Fevereiro	0,54	0,03	0,32	0,02
Março	0,35	0,02	0,21	0,01
Abril	0,43	0,02	0,26	0,01
Mai	1,11	0,06	0,67	0,04
Junho	1,27	0,07	0,76	0,04
Julho	1,51	0,08	0,91	0,05
Agosto	1,78	0,10	1,07	0,06
Setembro	2,00	0,11	1,20	0,07
Outubro	2,05	0,11	1,23	0,07
Novembro	2,14	0,12	1,28	0,07
Dezembro	1,87	0,10	1,20	0,06

Fonte: Batista (2013)

3.2 PROPOSTA DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO SÃO GONÇALO

Contudo, Batista (2013) propôs 5 alternativas para a operação do reservatório de São Gonçalo que estão descritos a seguir:

- *Alternativa C2*– Quando o volume reservatório encontrar-se abaixo de 40% de sua capacidade máxima deverá ser suprimida parte da oferta destinada ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo e à irrigação difusa das comunidades ribeirinhas, proporcionando-lhes apenas a chamada “irrigação de salvação”, que equivale a 60% do volume normalmente liberado para tal finalidade.

- *Alternativa C3*– Quando o volume do açude encontrar-se abaixo de 30% de sua capacidade máxima deverá ser suprimida parte da oferta destinada ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo e à irrigação difusa das comunidades ribeirinhas, proporcionando-lhes apenas a “irrigação de salvação”.

- *Alternativa C4*– Quando o volume do reservatório ficar abaixo de 20% de sua capacidade máxima, deverá ocorrer a supressão completa da oferta de água destinada a irrigação, tanto a difusa quanto a do Perímetro Irrigado.

- *Alternativa C5*– Combinação das alternativas C2 e C4, ou seja, quando o reservatório estiver abaixo de 40% de sua capacidade máxima, deverá ser suprimida parte da oferta destinada ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo e à irrigação difusa das comunidades ribeirinhas, proporcionando-lhes apenas a “irrigação de salvação”; e caso o volume fique inferior aos 20% do capacidade máxima, deve ocorrer a supressão completa da oferta liberada para a irrigação.

- *Alternativa C6*– Combinação das alternativas C3 e C4, ou seja, quando o reservatório estiver abaixo de 30% de sua capacidade máxima, deverá ser suprimida parte da oferta destinada ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo e à irrigação difusa das comunidades ribeirinhas, proporcionando-lhes apenas a “irrigação de salvação”; e caso o volume fique inferior aos 20% do capacidade máxima, deve ocorrer a supressão completa da oferta liberada para a irrigação.

Constatou-se que em todas as alternativas, as demandas para abastecimento dos centros urbanos e abastecimento das comunidades ribeirinhas tiveram suas demandas plenamente atendidas. Entretanto as demandas Perímetro Irrigado de São Gonçalo e da irrigação difusa apresentaram falhas de atendimento de acordo com a alternativa escolhida.

3.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Deste modo, para auxiliar a tomada de decisão para escolha da melhor alternativa foram considerados critérios definidos a partir de duas dimensões do sistema: a Agricultura Irrigada e o Reservatório.

3.3.1 Critérios para a Agricultura Irrigada

Os critérios para a agricultura irrigada têm o objetivo de retratar os anseios dos decisores quanto ao suprimento hídrico do PISG e da irrigação difusa em torno do reservatório.

Assim foram estabelecidos os seguintes critérios:

CONFIABILIDADE: representa a probabilidade de atendimento da demanda, ou seja, é a percentagem de tempo em que a demandas foi atendida. A confiabilidade como sendo o oposto do risco e quanto mais próximo de 1 (um) for o seu valor, melhor será a confiabilidade do sistema.

RESILIÊNCIA OU ELASTICIDADE: representa a probabilidade do sistema retorna de uma falha caso esta tenha ocorrido. É usado para avaliar o quão rapidamente o sistema retorna de um estado de falha para um estado satisfatório de atendimento da demanda. Algumas vezes é preferível um sistema que apresente muitas falhas, mas que se recupere mais rápido, do que um tenha poucas falhas e demore mais para se recuperar.

VULNERABILIDADE: serve para mostrar o quão severa é a magnitude das falhas ao qual o sistema está sujeito, caso ela tenha ocorrido. Quanto maior o déficit hídrico, maior será a vulnerabilidade.

VAZÃO MÉDIA: representa a quantidade de água fornecida por unidade de tempo ao PISG e a irrigação difusa. Quanto maior for seu valor significa que houve maior quantidade de água disponibilizada.

3.3.2 Critérios para o Reservatório

Os critérios para o reservatório têm o objetivo de retratar os anseios dos decisores quanto ao impacto da operação sobre o volume de água do reservatório.

Assim foram estabelecidos os seguintes critérios:

EVAPORAÇÃO: representa a quantidade de água do reservatório transformada em vapor d'água devido à radiação solar e a temperatura do ar. Quanto maior for seu valor maior a será perda de água do reservatório.

VERTIMENTO: representa a quantidade de água do reservatório que foi extravasada pelo vertedor. Quanto menor for seu valor maior foi à eficiência no uso da água reservatório.

VAZÃO AFLUENTE: representa a quantidade de água retirada do reservatório para o atendimento das demandas. Maiores valores podem impacta a disponibilidade de água do reservatório.

VOLUME 20%: representa a probabilidade do volume de água do reservatório fica abaixo de 20% de sua capacidade de armazenamento. Quanto maior seu valor maior as chances do reservatório entra em colapso (seca completamente)

3.3.3 Pesos dos Critérios e Funções de Preferência

Em estudos que envolvem análise multicriterial, geralmente, é utilizada a técnica de aplicação de questionários com o objetivo de se poder representar nos pesos de cada critério ou atributo os anseios dos participantes diretamente envolvidos com as ações a serem tomadas em cada alternativa que for escolhida. Entretanto o trabalho de campo seria enorme, incluindo dificuldades de acesso, e, muito provavelmente, ainda não seria representativo o suficiente. Além disso, a diferença cultural dos participantes envolvidos poderia levar a se formular questionários ou muito simples ou complexos, podendo até mesmo incorrer no erro da tendenciosidade dos aplicadores do questionário ao se tentar esclarecer as perguntas, que gerariam insatisfações. (Santos et al., 2005).

Assim, no intuito de elimina uma possível tendenciosidade, oriunda da aplicação de questionários, e obter resultados mais consistentes, foi feito uma análise de sensibilidade, através de variações iguais a 10% no peso de cada dimensão (agricultura irrigada e reservatório) para o intervalo compreendido entre 0 e 100%, de tal forma que a soma dos pesos atribuídos as dimensões resultasse em 100%, totalizando 11 cenários possível como descrito na Tabela 04.

Tabela 04 – Cenários e pesos atribuídos para cada dimensão.

Cenários	Agricultura irrigada	Reservatório
C1	0%	100%
C2	10%	90%
C3	20%	80%
C4	30%	70%
C5	40%	60%
C6	50%	50%
C7	60%	40%
C8	70%	30%
C9	80%	20%
C10	90%	10%
C11	100%	0%

Fonte: Elaboração própria

Segundo Santos (2009) as funções de preferência utilizadas no método PROMETHEE II expressam a essência da preferência de uma alternativa sobre a outra com relação a cada critério. Procurou-se, quando possível, fazer uso de funções de preferência que pudessem incluir margens de erro ou tolerâncias tendo em vista que, ao estimar os valores para os critérios relativos às alternativas, eventuais erros poderão ser introduzidos nestes valores, desta maneira os parâmetros das funções possibilitarão a correção destes erros. Para isso, fez-se uso da função de preferência da função do tipo III.

A determinação dos pesos para os critérios de cada dimensão podem ser vistas nas Tabelas 05 e 06.

Tabela 05 – Funções de preferência e pesos para os critérios da dimensão agricultura irrigada.

Dimensão Agricultura Irrigada				
Critério	Objetivo	Função de Preferência		Peso
		Tipo	Parâmetros	
Confiabilidade	Max	III	90%	30%
Resiliência	Max	III	100%	20%
Vulnerabilidade	Min	III	100%	20%
Vazão Média	Max	III	1,27 m ³ /s	30%
Total				100%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 06 – Funções de preferência e pesos para os critérios da dimensão reservatório.

Dimensão Reservatório				
Critério	Objetivo	Função de Preferência		Peso
		Tipo	Parâmetros	
Evaporação	Min	III	1,1 hm ³	30%
Vertimento	Min	III	1,5 hm ³	20%
Vazão afluyente	Min	III	1,25 m ³ /s	20%
Volume 20%.	Min	III	20%	30%
Total				100%

Fonte: Elaboração própria

Contudo, a matriz de avaliação composta pelas 05(cinco) alternativas e os 08 (oito) critérios divididos nas 02 (duas) dimensões pode ser observada na Tabela 07.

Tabela 07 – Matriz de avaliação.

Dimensão	Critério	Unidades	Alternativas				
			C1	C2	C3	C4	C5
Agricultura irrigada	Confiabilidade	%	59	67	84	60	69
	Resiliência	%	14	14	50	14	16
	Vulnerabilidade	%	40	41	100	43	50
	Vazão Média	m ³ /s	1,22	1,26	1,27	1,21	1,24
Reservatório	Evaporação	hm ³	1,03	0,98	0,96	1,05	1,00
	Vertimento	hm ³	1,49	1,38	1,37	1,54	1,43
	Vazão afluyente	m ³ /s	1,38	1,42	1,43	1,37	1,41
	Volume 20%.	%	6	12	17	2	5

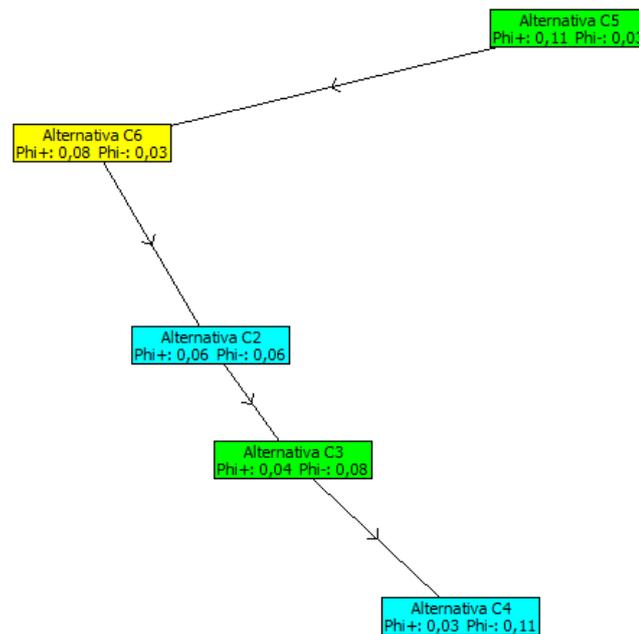
Fonte: Batista (2013)

Foi utilizado o software Visual PROMETHEE para conduzir as análises da pesquisa e calcular o ranking das alternativas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 06 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 1 (peso de 0% para o dimensão agricultura irrigada e de 100% para o dimensão reservatório).

Figura 06 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 1



Fonte: Elaboração própria

Tem-se que a alternativa C5 é preferida em relação às demais alternativas. Observa-se que todas alternativas são preferidas à alternativa C4, ou seja, todas alternativas são melhores opções que a alternativa C4 para este cenário.

A tabela 08 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 1 com os valores dos fluxos Phi (fluxo líquido), $Phi+$ (fluxo de importância positivo) e $Phi-$ (fluxo de importância negativo).

Tem-se que as alternativas C5 e C6 apresentaram fluxo líquido(Phi) positivo, e as alternativa C2, C3 e C4 apresentaram o fluxo líquido(Phi) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C5 que apresentou maior fluxo líquido(Phi) e a pior a alternativa C4 por apresentar menor fluxo líquido(Phi).

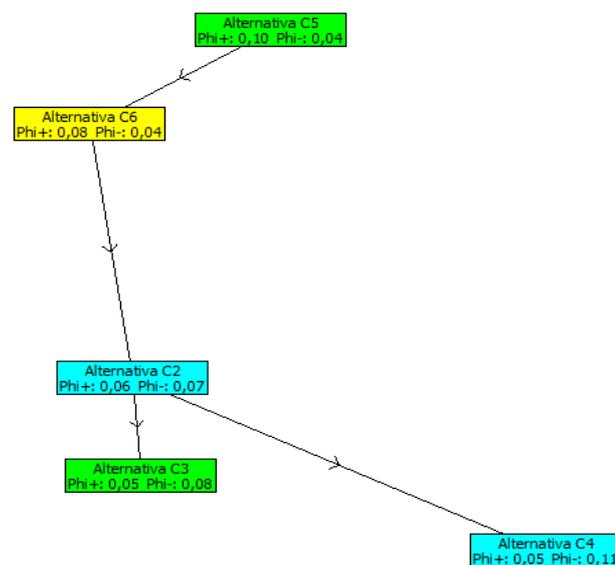
A Figura 07 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 2(peso de 10% para o dimensão agricultura irrigada e de 90% para o dimensão reservatório).

Tabela 08 – Ranking das alternativas para o cenário 1

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C5	0,0789	0,1069	0,028
2	Alternativa C6	0,0477	0,0825	0,0348
3	Alternativa C2	-0,0073	0,0572	0,0645
4	Alternativa C3	-0,0384	0,0431	0,0816
5	Alternativa C4	-0,0808	0,025	0,1059

Fonte: Elaboração própria

Figura 07 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 2



Fonte: Elaboração própria

Tem-se que a alternativa C5, assim como no Cenário 1, é preferida em relação às demais alternativas. Observa-se, nesse cenário, que as demais alternativas são preferidas às alternativas C3 e C4. As alternativas C3 e C4 são incomparáveis para esse cenário.

A tabela 09 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 2 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Tem-se que, assim como no Cenário 1, as alternativas C5 e C6 apresentaram fluxo líquido(*Phi*) positivo, e as alternativa C2, C3 e C4 apresentaram o fluxo líquido(*Phi*) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C5 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C4 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*).

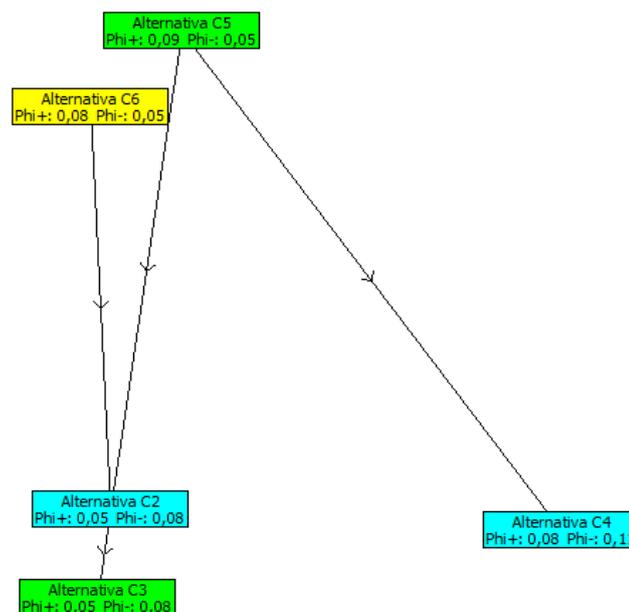
Tabela 09 - Ranking das alternativas para o cenário 2

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C5	0,0613	0,099	0,0378
2	Alternativa C6	0,0407	0,0814	0,0406
3	Alternativa C2	-0,0144	0,0555	0,0699
4	Alternativa C3	-0,0357	0,0452	0,0809
5	Alternativa C4	-0,0519	0,0537	0,1056

Fonte: Elaboração própria

A Figura 08 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 3 (peso de 20% para o dimensão agricultura irrigada e de 80% para o dimensão reservatório).

Figura 08 – Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 3



Fonte: Elaboração própria

Tem-se que, nesse cenário, a alternativa C5 é preferida em relação às alternativas C2, C3 e C4 e a alternativa C6 é preferida em relação às alternativas C2 e C3. Observa-se, assim como o cenário 2, que as demais alternativas são preferidas às alternativas C3 e C4. As alternativas C3 e C4 e as alternativas C5 e C6 são incomparáveis para esse cenário.

A tabela 10 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 3 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Tabela 10 - Ranking das alternativas para o cenário 3

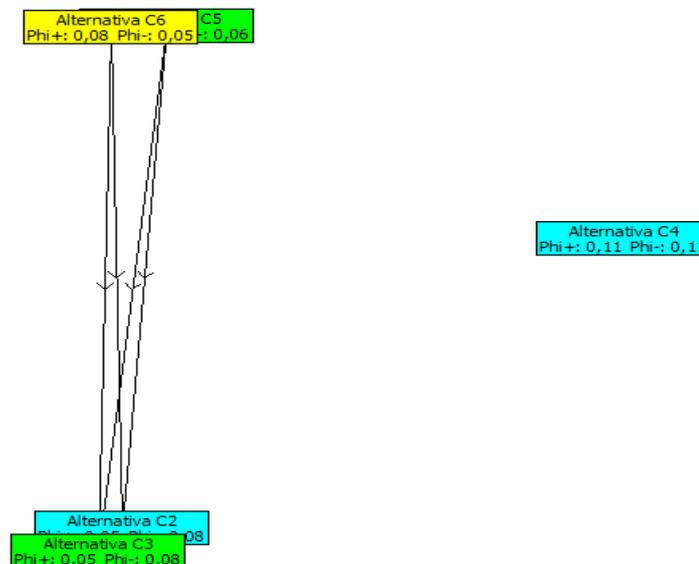
Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C5	0,0452	0,0929	0,0478
2	Alternativa C6	0,0346	0,0816	0,0471
3	Alternativa C2	-0,0216	0,0548	0,0764
4	Alternativa C4	-0,0244	0,0829	0,1073
5	Alternativa C3	-0,0338	0,0479	0,0817

Fonte: Elaboração própria

Tem-se que, assim como nos cenários anteriores, as alternativas C5 e C6 apresentaram fluxo líquido(*Phi*) positivo, e as alternativa C2, C3 e C4 apresentaram o fluxo líquido(*Phi*) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C5 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C3 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*). Entretanto, nesse caso, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 09 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 4 (peso de 30% para o dimensão agricultura irrigada e de 70% para o dimensão reservatório).

Figura 09 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 4



Fonte: Elaboração própria

Tem-se que, nesse cenário, as alternativas C5 e C6 são preferidas em relação às alternativas C2 e C3. Observa-se que as demais alternativas são preferidas à alternativa C3. A

alternativa C4 é incomparável com as demais alternativas e as alternativas C5 e C6 são incomparáveis para esse cenário.

A tabela 11 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 4 com os valores dos fluxos Φ (fluxo líquido), Φ^+ (fluxo de importância positivo) e Φ^- (fluxo de importância negativo).

Tabela 11 - Ranking das alternativas para o cenário 4

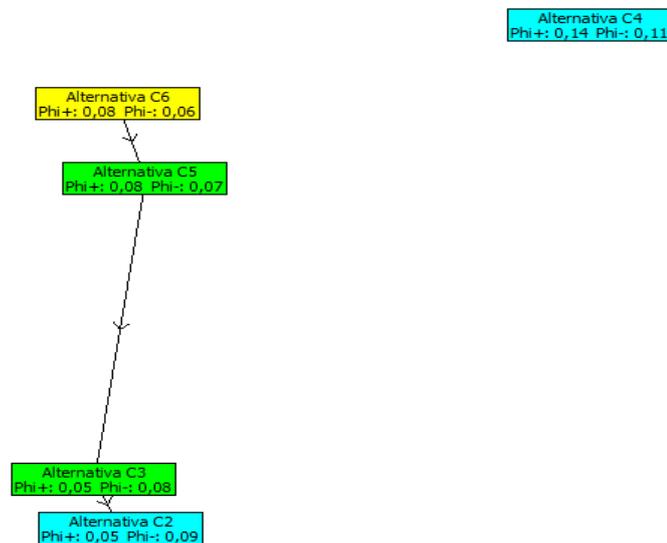
Rank	Alternativas	Φ	Φ^+	Φ^-
1	Alternativa C5	0,0279	0,0852	0,0573
2	Alternativa C6	0,0277	0,0805	0,0528
3	Alternativa C4	0,004	0,111	0,107
4	Alternativa C2	-0,0285	0,0532	0,0817
5	Alternativa C3	-0,0311	0,05	0,0811

Fonte: Elaboração própria

Tem-se que as alternativas C4, C5 e C6 apresentaram fluxo líquido(Φ) positivo, e as alternativa C2 e C3 apresentaram o fluxo líquido(Φ) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C5 que apresentou maior fluxo líquido(Φ) e a pior a alternativa C3 por apresentar menor fluxo líquido(Φ). Entretanto, assim como o cenário 3, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 10 apresenta os resultados para o Cenário 5 (peso de 40% para o dimensão agricultura irrigada e de 60% para o dimensão reservatório).

Figura 10 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 5



Fonte: Elaboração própria

Tem-se que a alternativa C6 é preferida em relação às demais alternativas, menos a alternativa C4. Observa-se, nesse cenário, que as demais alternativas são preferidas à alternativa C2. Assim, como no cenário 4, alternativa C4 é incomparável com as demais alternativas.

A tabela 12 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 5 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Tabela 12 - Ranking das alternativas para o cenário 5

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C4	0,0321	0,1408	0,1087
2	Alternativa C6	0,0214	0,0807	0,0593
3	Alternativa C5	0,0114	0,0789	0,0675
4	Alternativa C3	-0,0292	0,0527	0,0819
5	Alternativa C2	-0,0358	0,0525	0,0883

Fonte: Elaboração própria

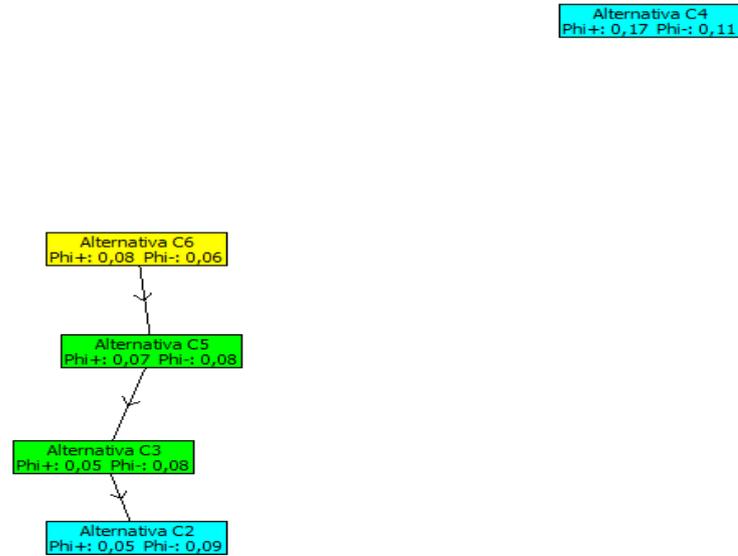
Tem-se, assim como no cenário anterior, que as alternativas C4, C5 e C6 apresentaram fluxo líquido(*Phi*) positivo, e as alternativa C2 e C3 apresentaram o fluxo líquido(*Phi*) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C2 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*). Entretanto, assim como nos cenários 3 e 4, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 11 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 6 (peso de 50% para o dimensão agricultura irrigada e de 50% para o dimensão reservatório).

Observa-se comportamento similar ao cenário 5, com a alternativa C6 preferida em relação às demais alternativas, menos a alternativa C4; as demais alternativas são preferidas à alternativa C2 e a alternativa C4 é incomparável com as demais alternativas.

A tabela 13 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 6 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Figura 11 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 6



Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 - Ranking das alternativas para o cenário 6

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C4	0,0599	0,1683	0,1084
2	Alternativa C6	0,0147	0,0796	0,0649
3	Alternativa C5	-0,0055	0,0713	0,0768
4	Alternativa C3	-0,0265	0,0547	0,0812
5	Alternativa C2	-0,0426	0,0509	0,0935

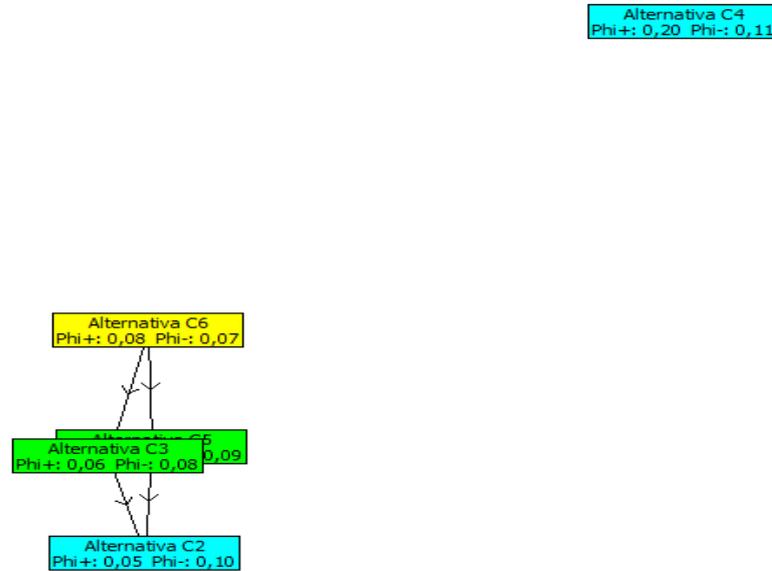
Fonte: Elaboração própria

Observa-se na Tabela 13, assim como no cenário anterior, que as alternativas C4 e C6 apresentaram fluxo líquido(*Phi*) positivo, e as alternativa C2, C3 e C5 apresentaram o fluxo líquido(*Phi*) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C2 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*). Entretanto, assim como nos cenários 3, 4 e 5, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 12 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 7 (peso de 60% para o dimensão agricultura irrigada e de 40% para o dimensão reservatório).

Observa-se comportamento similar aos cenários 5 e 6, com a alternativa C6 preferida em relação às demais alternativas, menos a alternativa C4; as demais alternativas são preferidas à alternativa C2 e a alternativa C4 é incomparável com as demais alternativas.

Figura 12 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 7



Fonte: Elaboração própria

A tabela 14 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 7 com os valores dos fluxos Phi (fluxo líquido), $Phi+$ (fluxo de importância positivo) e $Phi-$ (fluxo de importância negativo).

Tabela 14 - Ranking das alternativas para o cenário 7

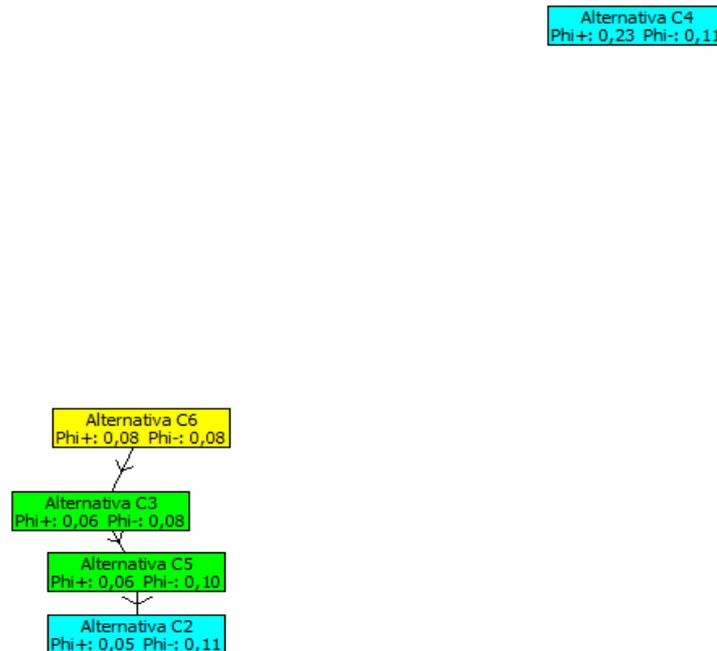
Rank	Alternativas	Phi	$Phi+$	$Phi-$
1	Alternativa C4	0,0885	0,1987	0,1102
2	Alternativa C6	0,0083	0,0799	0,0716
3	Alternativa C5	-0,0223	0,0649	0,0872
4	Alternativa C3	-0,0245	0,0575	0,082
5	Alternativa C2	-0,05	0,0502	0,1002

Fonte: Elaboração própria

Tem-se, assim como nos cenários 5 e 6, que as alternativas C4 e C6 apresentaram fluxo líquido(Phi) positivo, e as alternativa C2, C3 e C5 apresentaram o fluxo líquido(Phi) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(Phi) e a pior a alternativa C2 por apresentar menor fluxo líquido(Phi). Entretanto, assim como nos cenários 3, 4, 5 e 6, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 13 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 8 (peso de 70% para o dimensão agricultura irrigada e de 30% para o dimensão reservatório).

Figura 13 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 8



Fonte: Elaboração própria

Observa-se comportamento similar aos cenários 5, 6 e 7, com a alternativa C6 preferida em relação às demais alternativas, menos a alternativa C4; as demais alternativas são preferidas à alternativa C2 e a alternativa C4 é incomparável com as demais alternativas.

A tabela 15 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 8 com os valores dos fluxos Phi (fluxo líquido), $Phi+$ (fluxo de importância positivo) e $Phi-$ (fluxo de importância negativo).

Tabela 15 - Ranking das alternativas para o cenário 8

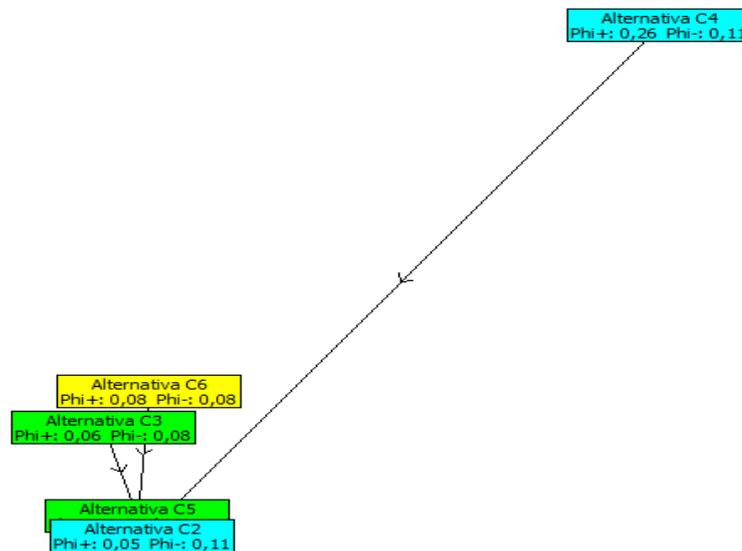
Rank	Alternativas	Phi	$Phi+$	$Phi-$
1	Alternativa C4	0,1158	0,2256	0,1098
2	Alternativa C6	0,0017	0,0788	0,0771
3	Alternativa C3	-0,0219	0,0594	0,0814
4	Alternativa C5	-0,0389	0,0574	0,0963
5	Alternativa C2	-0,0566	0,0486	0,1053

Fonte: Elaboração própria

Tem-se, assim como nos cenários 5, 6 e 7, que as alternativas C4 e C6 apresentaram fluxo líquido(Φ) positivo, e as alternativas C2, C3 e C5 apresentaram o fluxo líquido(Φ) negativo. A melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(Φ) e a pior a alternativa C2 por apresentar menor fluxo líquido(Φ). Entretanto, assim como nos cenários 3, 4, 5 e 6, a alternativa C6 se apresenta com uma boa alternativa a ser escolhida.

A Figura 14 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 9 (peso de 80% para a dimensão agricultura irrigada e de 20% para a dimensão reservatório).

Figura 14 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 9



Fonte: Elaboração própria

Percebe-se, nesse cenário, as alternativas C3, C4 e C6 são preferidas às alternativas C5 e C2. Todas as alternativas são preferidas à alternativa C2. As alternativas C4, C3 e C6 são incomparáveis.

A tabela 16 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 9 com os valores dos fluxos Φ (fluxo líquido), $\Phi+$ (fluxo de importância positivo) e $\Phi-$ (fluxo de importância negativo).

Tem-se que apenas a alternativa C4 apresenta fluxo líquido(Φ) positivo. Logo a melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(Φ) e a pior a alternativa C2 por apresentar menor fluxo líquido(Φ).

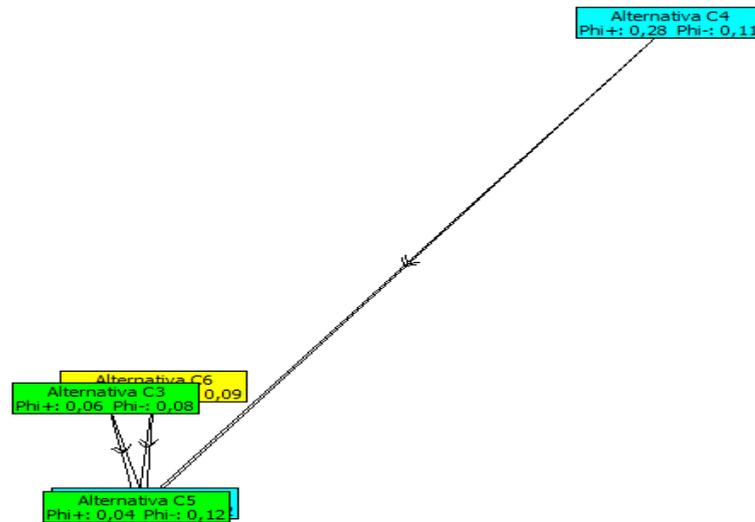
Tabela 16 - Ranking das alternativas para o cenário 9

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C4	0,145	0,2566	0,1116
2	Alternativa C6	-0,0049	0,079	0,0839
3	Alternativa C3	-0,0199	0,0623	0,0822
4	Alternativa C5	-0,056	0,0509	0,1069
5	Alternativa C2	-0,0642	0,0479	0,1121

Fonte: Elaboração própria

A Figura 15 apresenta os resultados para o Cenário 10 (peso de 90% para a dimensão agricultura irrigada e de 10% para a dimensão reservatório).

Figura 15 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 10



Fonte: Elaboração própria

Percebe-se, nesse cenário, as alternativas C3, C4 e C6 são preferidas as alternativas C5 e C2. As alternativas C4, C3 e C6 são incomparáveis assim como as alternativas C5 e C2.

A tabela 17 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 10 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Assim como no cenário anterior, apenas a alternativas C4 apresenta fluxo líquido(*Phi*) positivo. Logo, a melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C5 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*).

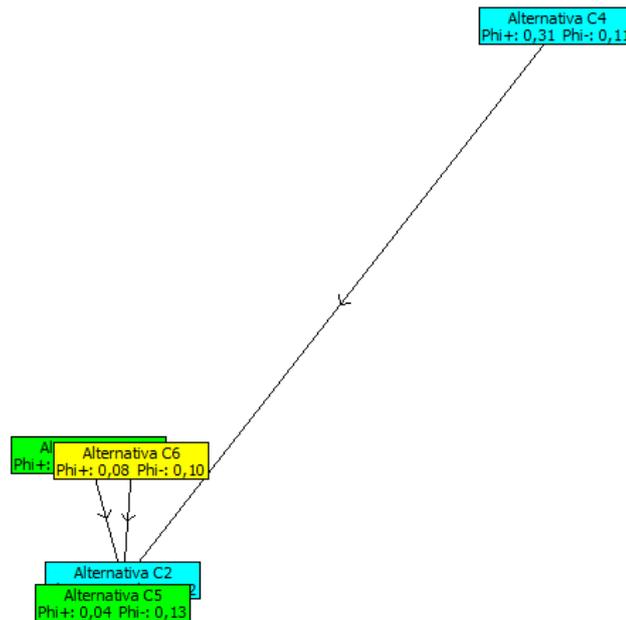
Tabela 17 - Ranking das alternativas para o cenário 10

Rank	Alternativas	<i>Phi</i>	<i>Phi+</i>	<i>Phi-</i>
1	Alternativa C4	0,1717	0,2829	0,1113
2	Alternativa C6	-0,0113	0,0779	0,0892
3	Alternativa C3	-0,0173	0,0642	0,0815
4	Alternativa C2	-0,0707	0,0463	0,117
5	Alternativa C5	-0,0723	0,0436	0,1159

Fonte: Elaboração própria

A Figura 16 apresenta os resultados da ordenação parcial das alternativas para o Cenário 11 (peso de 100% para a dimensão agricultura irrigada e de 0% para a dimensão reservatório).

Figura 16 - Ordenação parcial das alternativas para o Cenário 11



Fonte: Elaboração própria

Percebe-se comportamento similar ao cenário 9, com as alternativas C3, C4 e C6 preferidas as alternativas C5 e C2. Nesse caso, todas as alternativas são preferidas à alternativa C5. As alternativas C4, C3 e C6 são incomparáveis.

A tabela 18 apresenta o ranking das alternativas para o cenário 11 com os valores dos fluxos *Phi* (fluxo líquido), *Phi+* (fluxo de importância positivo) e *Phi-* (fluxo de importância negativo).

Tabela 18 - Ranking das alternativas para o cenário 11

Rank	Alternativas	Phi	Phi+	Phi-
1	Alternativa C4	0,2015	0,3145	0,113
2	Alternativa C3	-0,0153	0,0671	0,0823
3	Alternativa C6	-0,018	0,0781	0,0962
4	Alternativa C2	-0,0784	0,0455	0,124
5	Alternativa C5	-0,0897	0,0369	0,1266

Fonte: Elaboração própria

Assim como nos cenários 9 e 10, apenas a alternativas C4 apresenta fluxo líquido(*Phi*) positivo. Logo, a melhor alternativa para esse cenário é a alternativa C4 que apresentou maior fluxo líquido(*Phi*) e a pior a alternativa C5 por apresentar menor fluxo líquido(*Phi*).

Desta forma a Tabela 19 apresenta o resultado de todos os cenários para as duas dimensões (Agricultura Irrigada e Reservatório).

Tabela 19 –Resumo da escolha das alternativas para todos os cenários.

Cenários	Peso da dimensão		Melhor Alternativa	Pior Alternativa
	Agricultura irrigada	Reservatório		
1	0%	100%	Alternativa C5	Alternativa C4
2	10%	90%	Alternativa C5	Alternativa C4
3	20%	80%	Alternativa C5	Alternativa C3
4	30%	70%	Alternativa C5	Alternativa C3
5	40%	60%	Alternativa C4	Alternativa C2
6	50%	50%	Alternativa C4	Alternativa C2
7	60%	40%	Alternativa C4	Alternativa C2
8	70%	30%	Alternativa C4	Alternativa C2
9	80%	20%	Alternativa C4	Alternativa C2
10	90%	10%	Alternativa C4	Alternativa C5
11	100%	0%	Alternativa C4	Alternativa C5

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que a alternativa C5 é a alternativa preferida quando se considera um peso de pelo menos 70% para os critérios da dimensão Reservatório (70% para a dimensão Agricultura Irrigada). Sendo a pior alternativa quando se considera um peso pelo menos 90% para os critérios da dimensão Agricultura Irrigada (10% para a dimensão Reservatório).

A alternativa C4 passa a ser a alternativa preferida quando se considera um peso de pelo menos 40% para os critérios da dimensão Agricultura Irrigada (70% para a dimensão

Reservatório). Sendo a pior alternativa quando se considera um peso pelo menos 90% para os critérios da dimensão Reservatório (10% para a dimensão Agricultura Irrigada).

As alternativas C2 e C3 configuram como piores alternativas dependendo do peso estipulado para a dimensão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as considerações finais do trabalho que objetivou avaliar a melhor alternativa baseada na análise multicriterial composta por indicadores de utilização dos recursos hídricos do Reservatório São Gonçalo, como ferramenta de auxílio na tomada de decisão através da aplicação do método PROMETHEE II.

Tem-se que alternativas C5 e C4 são as únicas alternativas escolhidas para a operação do reservatório São Gonçalo. Sendo a alternativa C5 selecionada caso se tenha uma preferência de pelos menos 70% para os critérios da dimensão Reservatório e a alternativa C4 caso se tenha uma preferência de pelos menos 40% para os critérios da dimensão Agricultura Irrigada. Entretanto em todos os cenários a alternativa C6 se apresenta como uma boa alternativa a ser escolhida.

As alternativas C2 e C3 configuram como as piores alternativas a serem escolhidas dependendo com o peso estipulado para as dimensões.

Assim, percebe-se o sucesso da aplicação da análise multicritério para a seleção de alternativas. Outros critérios poderiam ter sido considerados, uma vez que a subjetividade na escolha dos critérios de análise são sempre subjetivas e cabem interpretações diferenciadas.

Sugere-se que o modelo seja replicado em outras regiões que passem por problemas de escassez hídrica com o intuito de auxiliar na tomada de decisão mediante a realidade encontrada.

REFERÊNCIAS

AESA Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, Gráfico da Variação do Volume nos Últimos Anos. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=9659>>. Acesso em: 16 Março de 2017.

ALBUQUERQUE, Fernando Silva; NÚÑEZ, Washinton Peres. Critérios para a tomada de decisão em obras rodoviárias sustentáveis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p.151-163, 2010.

ARAÚJO, Afrânio Galdino de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 16, n. 4, p. 534-543, Out.-Dez. 2009.

ARAÚJO, Danniell Cláudio de. **Metodologia para Apoio à Decisão na Gestão das Águas Pluviais Urbanas Combinando Métodos Multicritério e Multidecisor**. 2010. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PGEC), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE, 2010.

BARAN, Leandro Roberto. **Proposta de Um Modelo Multicritério para Determinação da Criticidade na Gestão da Manutenção**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

BATISTA, Roberto Lira. **Planejamento da utilização da água de um sistema hídrico: Um estudo de caso no reservatório São Gonçalo – Sousa/PB**. 2013. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Sousa - PB, 2013.

BERBERT, C. O. O Desafio das Águas. In: **Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais**. São Carlos: Rima, 2003. p. 81-97.

BRAGA, B. e GOBETTI, L. (1997). Análise Multiobjetivo. In: PORTO, R. L. L. Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade, UFRGS: ABRH, p. 361 – 418. Porto Alegre/RS.

BRAGA, C. F. C. (2001). Avaliação Multicritério e Multidecisor no Gerenciamento da Demanda Urbana de Água. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande-PB, 191 p.

CAMPOS, Maria Betânia Aparecida. **Métodos multicritérios que envolvem a tomada de decisão**. 2011. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Matemática, Departamento de Matemática, Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Exatas, Belo Horizonte, 2011.

CARVALHO, José Ribamar Marques de. **Sistema de Indicadores para a Gestão de Recursos Hídricos em Municípios: Uma Abordagem Através dos Métodos Multicritério**

e **Multidecisor**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós graduação em Recursos Naturais - PPGRN, UFCG, Campina Grande – PB, 2013.

CARVALHO, José Ribamar Marques de; CURI, Wilson Fadlo. Sistema de Indicadores para a Gestão de Recursos Hídricos em Municípios: Uma Abordagem Através dos Métodos Multicritério e Mutidecisor. In: **XVII SEMEAD SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO**, 2014.

CARVALHO, José Ribamar Marques de; CURI, Wilson Fadlo; CURI, Rosires Catão. Uso da Análise Multicritério na Construção de Um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental: Estudo em Municípios Paraibanos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté - São Paulo, v. 9, n. 2, p.3-26, 2013.

CARVALHO, Victor Diogho Heuer de et al. Abordagem Multicritério de Apoio a Decisões Estrategicamente Sustentáveis nas Organizações. **Revista Produção Online**, Florianópolis, Santa Catarina/RS, v. 15, n. 3, p.925-947, 2015.

CHAVES, Elisa Marques Barbosa. **Tomada de Decisão e Otimização de Alternativas no Planejamento com Múltiplos Objetivos em Unidades de Gerenciamento – Bacia do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul)**. 2004. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CHAVES, Maria Cecília de Carvalho et al. Uso Integrado de Dois Métodos de Apoio à Decisão Multicritério: VipAnalysis e Macbeth. **Pesquisa Operacional Para O Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p.89-99, 2010.

CHAVES, Maria Cecília de Carvalho et al. Utilização do método ELECTRE II para avaliação de pilotos no campeonato de Fórmula 1. **Produção**, v. 20, n. 1, p.102-113, mar. 2010.

COSTA, Carlos Germano Ferreira; SILVA, Edson Vicente da. O que Realmente Importa no Processo de Tomada de Decisão Considerando Políticas Públicas Baseadas em Evidência. **Revista Administração em Diálogo - Rad**, v. 18, n. 2, p.1-20, 20 jul. 2016. *Revista Administração em Dialogo*.

CURI, W. F.; CURI, R. C. Análise Multicriterial. Material da disciplina de Otimização em Recursos Naturais. **Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (Doutorado)** – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Ago/Out, 2010_a.

CURI, W. F.; CURI, R. C. Método AHP – Analytic Hierarchy Process. Material da disciplina de Otimização em Recursos Naturais. **Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (Doutorado)** – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Ago/Out, 2010_b.

Diário do Sertão. Seca: nível de açude chega a 5,6% e carros-pipas ajudam no abastecimento no Sertão. Disponível em: <<http://www.diariodosertao.com.br/noticias/cidades/51637/seca-nivel-de-acude-chega-a-56-e-carros-pipas-ajudam-no-abastecimento-no-sertao.html>>. Acesso em: 02 Set. 2016.

DUTRA, Ademar. MOLIN, Luiz Henrique Dal. Estudo de caso: Proposta de modelo multicritério de avaliação de desempenho: um estudo de caso na secretaria municipal de

indústria e comércio de Tubarão/SC. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau. V.7, n.1, p.15-47, TRI I, 2013. ISSN 1980-7031

FARIAS, S. R. A. **Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo**. 2004. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2004.

FRANKLIN, Rafael Barbosa; FERNANDES, Priscila Pereira. Métodos de tomada de decisão para empresas de pequeno e médio porte: uma abordagem multicritério. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p.129-136, nov. 2012.

GOMES JÚNIOR, Silvio Figueiredo et al. Integração de métodos multicritério na busca da sustentabilidade agrícola para a produção de tomates no município de São José de Ubá-RJ. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p.157-171, abr. 2011

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, vol. 26, n o 3, Rio de Janeiro/RJ, set./dez. 2006, pp. 567-584.

MORAIS, Danielle Costa; CAVALCANTE, Cristiano A. Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro/RJ, v.30, n.1, p.15-32, Janeiro a Abril de 2010.

MOURA, Jadielson Alves de; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Projetos de Sustentabilidade. In: **XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RESPONSABILIDADE SOCIAL: AS CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Bento Gonçalves /RS, 2012. p. 1 - 9.4

POMPERMAYER, R. de S. **Aplicação da Análise Multicritério em Gestão de Recursos Hídricos: Simulação para as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas/SP, 2003, p.137.

POMPERMAYER, Raquel de Souza; JÚNIOR, Durval Rodrigues de Paula; NETTO, Oscar de Moraes Cordeiro. Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 117-127, 2007.

SANTOS, R. B.; CURI, R. S.; CURI, W. F. (2005). Aplicação do Método Multicriterial Promethee para Ampliação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Gramame – PB. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB. (CD-ROM).

SANTOS, Rosinete Batista dos. **Avaliação de Intervenções Hidráulicas na Bacia do Rio Gramame-PB Com o Uso das Técnicas de Análise Multiobjetivo e Multicriterial**. 2009. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande /PB, 2009.

SCIENTEC, Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas**. SEPLAN. Paraíba. Brasil. 1997

TROJAN, Flavio. **Modelo Multicritério para Apoiar Decisões na Gestão da Manutenção de Redes de Distribuição de Água para a Redução de Custos e Perdas**. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

ZUFFO, Antonio et al. Aplicação de Métodos Multicritérios ao Planejamento de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p.81-102, 2002. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH.

