

GERENCIAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL NO PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ-PB USANDO GIS-MCDA

SUÊNIO ANDERSON FELICIANO DA SILVA ALVES¹; IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO² E JANIRO COSTA RÊGO³

¹Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, Brasil, sueniof@gmail.com

²Professor Associado da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – CTRN, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, Brasil, iana.alexandra@ufcg.edu.br

³Professor Associado da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – CTRN, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, Brasil, janiro_rego@yahoo.com.br

1 RESUMO

Este trabalho tem por objetivo utilizar uma Análise de Decisão Multicriterial em um Sistema de Informação Geográfica (*GIS-MCDA*) para encontrar alternativas no que concerne ao gerenciamento e uso da água advinda de um reservatório (barragem de Sumé) no perímetro irrigado de Sumé-PB. Para tanto, utilizou-se critérios técnicos, econômicos e ambientais para auxiliar na tomada de decisão em uma metodologia de Análise Hierárquica (AHP). A partir de um diagnóstico da água superficial são observadas as possibilidades de irrigação, tendo em vista a adequada qualidade química e microbiológica da água do reservatório e a sua disponibilidade. Com base nas restrições e na modelagem espacial adotada são elaboradas duas alternativas e, respectivamente, dois cenários. A Alternativa I evidenciada pela preferência ao critério econômico aponta uma área de 60 hectares inadequados e, conseqüentemente, a criação de um cenário com irrigação de 118 hectares distribuídos no decorrer do perímetro. A Alternativa II que estabelece preferência ao critério técnico, inviabiliza a irrigação em aproximadamente 167 hectares, com um cenário apresentando uma irrigação de 112 hectares localizados próximos ao reservatório.

Palavras-chave: análise multicritério, tomada de decisão, recursos hídricos.

ALVES, S. A. F. da S.; RUFINO, I. A. A.; RÊGO, J. C.
MANAGEMENT OF SURFACE WATER IN THE IRRIGATED PERIMETER
SUMÉ-PB USING *GIS-MCDA*

2 ABSTRACT

This work presents a GIS-based Multiple-Criteria Decision Analysis (*GIS-MCDA*) for helping on water management in an irrigated area. The main water source is a reservoir called “Sumé” (Sumé Dam). Technical, environmental and economic criteria are used for a better decision-making process. The Analytic Hierarchical Process (AHP) is the methodology approach. Irrigation possibilities are considered based on an initial diagnosis about the surface water

Recebido em 21/10/2016 e aprovado para publicação em 17/08/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p606-628>

available. Chemical and microbiological quality are analyzed in order to obtain a suitable water for each irrigated lot. There are some restrictions established by the spatial modelling, and the results shows two alternatives and two scenarios. First, when the economical criterion is the priority, the model shows that an area of about 60 hectares is not suitable. For the second alternative, when the technical criterion is the priority, a huge area is showed as not suitable (about 167 hectares). In the latter scenario, only areas close to the reservoir should be irrigated.

Keywords: multiple-criteria analysis, GIS, water resources.

3 INTRODUÇÃO

Perante uma situação de escassez hídrica, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos representam atividades primordiais para a efetiva implementação dos fundamentos, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997).

Neste contexto, para o desenvolvimento da irrigação local/regional no semiárido é fundamental conhecer a disponibilidade de água em quantidade e qualidade e, principalmente, deve-se procurar alternativas de uso dos recursos hídricos adequadas à realidade, ou seja, às condições do solo e das culturas cultivadas pelos irrigantes. Assim, o uso da água para irrigação de maneira sustentável configura-se num desafio para gestão dos recursos hídricos diante dos diversos aspectos envolvidos, como, por exemplo: águas subterrâneas e superficiais contaminadas com esgoto doméstico e solos salinos devido ao manejo inadequado da irrigação (TUNDISI, 2003).

Em face da atual situação das regiões semiáridas, não apenas no Brasil, como em todo o mundo, torna-se necessário desenvolver ferramentas adequadas para apoiar a tomada de decisão de modo a encontrar estratégias de adaptação às alterações climáticas no setor da agricultura, que demanda uma maior quantidade de água em relação a outros setores (VARELA-ORTEGA et al., 2014; AHRENDTS et al., 2008; MACHIWAL; JHA; MAL, 2011; KHEMIRI et al., 2013).

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), o consumo na agricultura chega a 72% do total, o que equivale a uma área irrigável de aproximadamente 29,6 milhões de hectares. No semiárido brasileiro, onde estão localizados os perímetros irrigados criados pelo Departamento Nacional de Obras Contra Seca (DNOCS) observa-se uma divergência entre a oferta e a demanda de água, agravada pela má utilização, ou seja, pela falta de planejamento e gerenciamento (CANTALICE, 2009; MENDONÇA, 2010).

Uma forma de superar esse descompasso é com a tomada de decisão fundamentada no gerenciamento integrado e sustentável dos recursos hídricos disponíveis para uso, utilizando critérios e alternativas que configurem a realidade dessas áreas irrigadas no Brasil. A Análise de Decisão Multicritério em Sistemas de Informação Geográfica, *GIS-MCDA* (terminologia decorrente de *MultiCriteria Decision Analysis in Geographic Information Systems*) se apresenta como uma ferramenta que possibilita aos tomadores de decisão escolher a(s) melhor(es) alternativa(s) no tocante ao uso da água mediante a análise espacial, levando em consideração critérios ambientais, econômicos e técnicos que configuram o problema de decisão com respeito ao uso da água pelos irrigantes (ANANE et al., 2012; MASSEI et al., 2014).

Várias técnicas de análise multicritério têm sido usadas para tomada de decisão como: ELECTRE, PROMETHEE, AHP, TOPSIS e outros. No entanto, apenas alguns desses métodos são aplicáveis integrados ao GIS, seja na avaliação de aptidão agrícola (CHEN; YU; KHAN,

2010, 2013; AKINCI; ÖZALP; TURGUT, 2013), na escolha de locais de recarga de aquífero (PEDRERO et al., 2011; AZIZUR et al., 2012), mapeamento e classificação de locais adequados para irrigação com água residuária (ANANE et al., 2011), desenvolvimento de mapas de suscetibilidade a deslizamento de terras (FEIZIZADEH; JANKOWSKI; BLASCHKE, 2014) e no planejamento urbano (MOSADEGHI et al., 2015).

Portanto, a Análise Multicritério Espacial consiste numa ferramenta de tomada de decisão primordial, devida à ampla gama de metodologias relacionadas que visam resolver problemas de planejamento e gestão baseada em GIS, de maneira que ofereçam uma variedade de técnicas e práticas que possibilitam incorporar o conhecimento das diversas áreas envolvidas para integrar as preferências dos tomadores de decisão (CHEN; YU; KHAN, 2010).

Considerando a relevância do gerenciamento dos recursos hídricos em perímetros irrigados e o potencial do GIS no auxílio da tomada de decisão, busca-se com um conjunto de critérios, encontrar alternativas de uso sustentável da água no perímetro irrigado de Sumé, observando a gestão sistemática, sem dissociar os aspectos quantitativos e qualitativos da água do reservatório, bem como, considera-se as condições do solo e as culturas cultivadas.

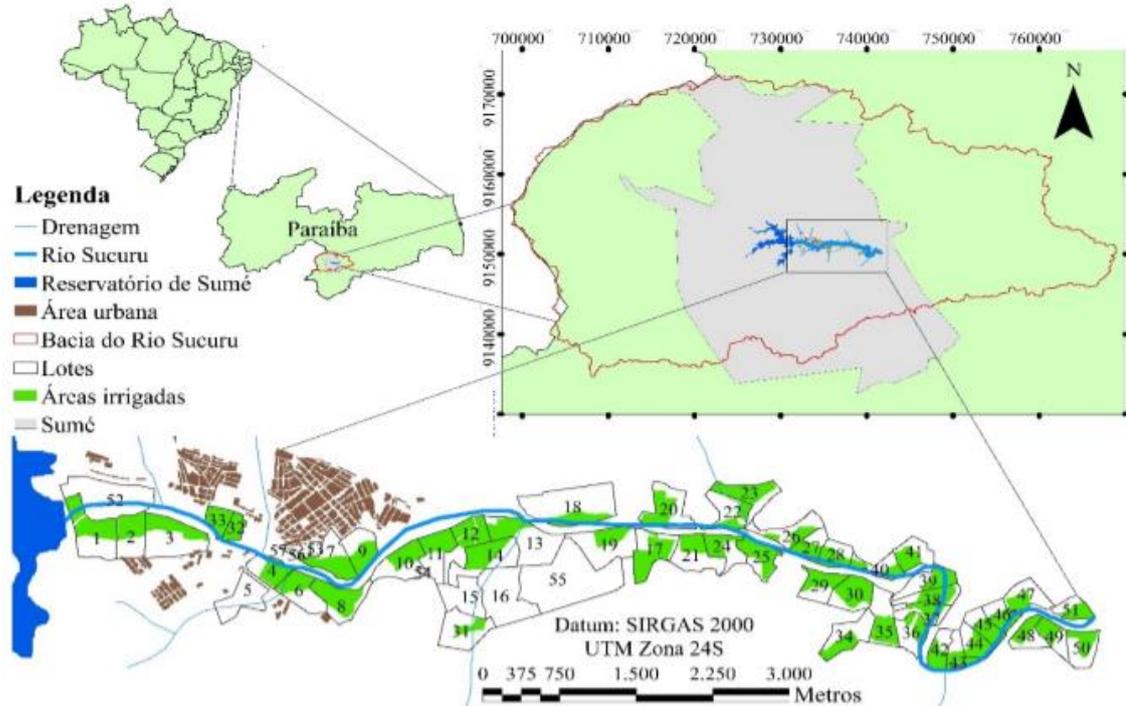
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caso de estudo

O Perímetro Irrigado de Sumé (na Figura 1), está localizado a apenas 2 km da sede do município de mesmo nome, está contido na zona fisiográfica do estado da Paraíba denominada de microrregião do Cariri Ocidental. O projeto possui uma área de mais de 830 hectares, sendo que, atualmente, a superfície irrigável corresponde a cerca de 287 ha, com área de sequeiro de aproximadamente 546 ha, totalizando 57 lotes. O perímetro está contido na bacia do Rio Sucuru, que recebe contribuições de dois riachos principais, riacho Pedra Comprida e riacho Pilões. O município dista 265 km da capital da Paraíba, com acesso pela BR-412 e situa-se entre as latitudes 7°38'7,19" e 7°42'10,25"; e longitudes 36°57'30,90" e 36°47'49,72", respectivamente (DNOCS, 1986; BRASIL, 2007; MENDONÇA, 2010).

O perímetro começou a ser implantado no ano de 1970 e somente atingiu sua plena capacidade em 1976. O suprimento hídrico do perímetro no início do projeto era realizado integralmente pelo reservatório de Sumé, que possui capacidade de armazenamento de 44.864.100 m³. No perímetro são produzidos: capim, feijão, milho, hortaliças (tomate comercial e industrial), frutíferas (melancia, melão e banana) e atividades de pecuária e caprinocultura (BRASIL, 2007; MENDONÇA, 2010; DNOCS, 1986). A Figura 1 apresenta uma localização deste perímetro irrigado.

Figura 1. Localização do perímetro irrigado de Sumé-PB na bacia do Rio Sucuru.



Fonte: Adaptado de Silva (2016).

Atualmente, essa produção é dada em menores escalas em relação ao início do projeto, pelo fato de dispor apenas da água de poços perfurados no aquífero aluvial. Desde a crise hídrica enfrentada na bacia do Rio Sucuru em 1987 quando o volume remanescente no reservatório de Sumé caiu para 7 milhões de metros cúbicos (15,6% de sua capacidade), o perímetro não é abastecido com água superficial. Esse problema foi principalmente causado pela construção demasiada de pequenos e médios reservatórios a montante do reservatório de Sumé (MENDONÇA, 2010; GUERRA, 1990; VIEIRA, 2002; SILVA et al., 2009), o que alterou sua vazão de regularização e restringiu sua recarga nos anos pouco chuvosos.

4.2 Modelagem conceitual

A metodologia proposta toma por base a estrutura hierárquica descrita segundo Malczewski e Rinner (2015), onde o problema de decisão é composto por quatro níveis para sistematizar e representar: *meta*, *objetivos*, *atributos* e *alternativas*, de maneira que após obtenção das alternativas, para este caso de estudo, criaram-se os *cenários*. Em GIS é importante destacar que toda informação é gerada a partir de uma modelagem conceitual. Assim, é fundamental descrever o problema com base numa hierarquia que possibilite avaliar os critérios selecionados, partindo do princípio de que um critério representa um termo genérico que inclui os conceitos de objetivos e atributos (RUFINO, 2004; MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

Para criação de possíveis cenários, considera-se como restrições o abastecimento a partir do reservatório, com adoção de 80% de nível de confiança para as condições de operação de irrigação, abastecimento de água e vazão ecológica. A adoção da demanda para abastecimento baseia-se na outorga concedida à Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) pela Agência Nacional de Águas (ANA), resolução nº 29 de 17 de novembro de 2004. Além do mais, usa-se informação da evapotranspiração potencial da bacia para quantificação da área

possível de ser irrigada com água do reservatório (BRASIL, 2007). A Tabela 1, apresenta os Critérios Técnicos (CT) adotados com as respectivas restrições:

Tabela 1. Classes de adequação para os critérios técnicos

| Critérios Técnicos | Unidade | S1 | S2 | S3 | N |
|---|----------------|-----------|-------------|-------------|----------|
| Declividade do terreno | % | 0 – 2 | 2 – 4 | 4 – 8 | > 8 |
| Proximidade das áreas irrigadas | <i>m</i> | 0 – 150 | 150 – 250 | 250 – 350 | > 350 |
| Proximidade das áreas irrigadas ao reservatório | <i>m</i> | 0 – 3000 | 3000 – 6000 | 6000 – 7000 | > 7000 |

S1 - Altamente adequada; S2 - Moderadamente adequada; S3 - Marginalmente adequada; N - Inadequada.

Para o atributo/critério de *Declividade do Terreno* consideram-se as informações de Chen, Yu e Khan (2010, 2013), pois declividades maiores que 8% são consideradas como inadequadas para a produção agrícola. A inclinação do terreno afeta o escoamento superficial e a erosão do solo. Com relação aos atributos de *Proximidade entre as Áreas Irrigadas* (PAI) e de *Proximidade das Áreas Irrigadas ao Reservatório* (PAIR), sua construção fundamentou-se em visita técnica ao perímetro irrigado e consulta aos especialistas em engenharia de recursos hídricos, com evidência nos desafios de manutenção dos canais principais e secundários; e na distribuição de água entre as áreas irrigadas. Além de considerar as obstruções existentes no canal, e observação de locais com maiores riscos de haver obstruções por aspectos como erosão e presença de resíduos. Portanto, para a viabilização da irrigação no perímetro por água do reservatório, entende-se que quanto mais próximas for às áreas irrigadas do reservatório mais adequadas estão para a fonte hídrica. Bem como entende-se que áreas mais próximas uma da outra são mais adequadas para gerenciamento dos recursos hídricos superficiais, principalmente, no que se refere à tomada de água do canal principal.

Os Critérios Econômicos (CE) são critérios que intervém diretamente no gerenciamento da água no perímetro irrigado, pois é necessário conhecer as condições do solo para tomar a decisão de quais áreas devem ser irrigadas. A identificação de áreas potencialmente salinas é imprescindível para o gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que, nas áreas onde a salinidade situa-se elevada, águas para irrigação com concentrações de sais acima de 0,7 dS/m podem agravar o problema de salinidade. Segundo Dias e Blanco (2010) a consequência direta da salinidade sobre o solo é a perda da fertilidade e a susceptibilidade à erosão, além de outros impactos como a contaminação das águas subterrâneas; e nas plantas, os efeitos implicam na perda de produtividade e qualidade, ou até mesmo perda total da produção. Solos com valores de salinidade entre 4 e 8 dS/m (solo medianamente salino) afetam o rendimento de várias culturas, e um solo fortemente salino (> 8,00 dS/m) somente culturas tolerantes produzem satisfatoriamente (RICHARDS, 1954).

A fração de sódio trocável presente no solo em relação aos demais cátions adsorvidos é relevante do ponto de vista de solos afetados por sais, principalmente quando há predominância do íon sódio em relação aos demais cátions trocáveis no complexo sortivo. Neste contexto, para *Salinidade e Sodicidade do Solo* foram consideradas as seguintes restrições:

Tabela 2. Classes de adequação para os critérios econômicos

| Critérios Econômicos | Unidade | S1 | S2 | S3 | N |
|-----------------------------|----------------|-----------|------------|-------------|----------|
| Salinidade | <i>dS/m</i> | 0 – 2,0 | 2,0 – 4,0 | 4,0 – 8,0 | > 8,0 |
| Sodicidade | % | 0 – 7,0 | 7,0 – 10,0 | 10,0 – 20,0 | > 20,0 |

S1 - Altamente adequada; S2 - Moderadamente adequada; S3 - Marginalmente adequada; N - Inadequada.

Para os critérios de salinidade e sodicidade do solo foram adotadas restrições, respectivamente, de Richards (1954) e Massoud (1971), para informações contidas em Brasil (2007). No que diz respeito ao critério de *Fertilidade do Solo* do perímetro irrigado, que também compõe o CE, formam também adotadas informações de Brasil (2007), com restrições adaptadas de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) para os parâmetros que compõem a qualidade química do solo, chamados de indicadores de qualidade do solo conforme Gomes e Filizola (2006).

Os Critérios Ambientais (CA) adotados são: a qualidade da água do reservatório e a classe do solo apresentada no perímetro irrigado. Para a qualidade da água observa-se a resolução n° 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para enquadramento em classe, considerando níveis de concentração de parâmetros como condutividade elétrica da água, concentrações de Sólido Dissolvido Total (SDT), níveis de Coliformes Termotolerantes e pH da água (BRASIL, 2005). As informações foram avaliadas também conforme a *World Health Organization* (WHO) (2006) e segundo Ayers e Westcot (1985). A Tabela 3 apresenta as restrições para os parâmetros químico e microbiológico:

Tabela 3. Classes de adequação para os critérios ambientais

| Critérios Ambientais | Unidade | S1 | S2 a S3 | N |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|----------|
| Salinidade da água | <i>dS/m</i> | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
| Sólido Dissolvido Total | <i>mg/L</i> | <450 | 450 – 2000 | > 2000 |
| pH | | 6,5 – 8,4 (Amplitude normal) | | |
| Coliformes Termotolerantes | <i>UFC/100 mL</i> | $\leq 10^3$ | - | - |
| Pedologia | | Luvisso Crômico | Neosso Flúvico | |

S1 - Altamente adequada; S2 - Moderadamente adequada; S3 - Marginalmente adequada; N - Inadequada.

No que diz respeito ao solo do perímetro irrigado de Sumé, o mesmo apresenta segundo a Embrapa (2006) duas classificações em específico, a primeira delas, logo a jusante do reservatório com características de Luvisso Crômico, e a segunda, presente em maior parte de Neosso de subordem Flúvico, que são solos derivados de sedimentos aluviais Eutróficos. Por serem solos com características texturais distintas, receberam classes de adequação diferentes do ponto de vista agrícola, conforme observado mediante sondagem à percussão (SPT) realizada no perímetro, para observação da classificação do material.

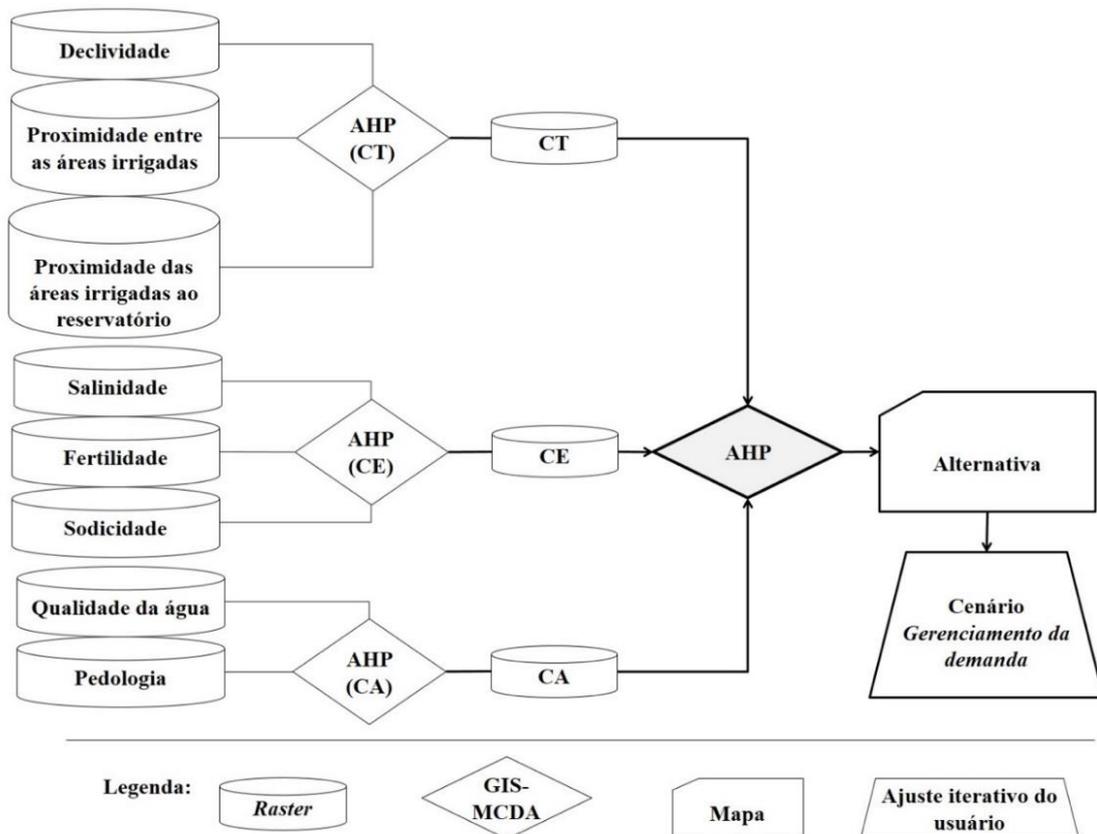
4.3 Modelagem espacial multicritério

A partir de informações disponíveis em relatórios do DNOCS, Ministério da Integração Nacional (MIN) (BRASIL, 2007), do projeto BRAMAR (*Brazil-Managed-Aquifer-Recharge*), e outras disponibilizadas pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), foram definidas a importância dos critérios adotados e sua influência direta no gerenciamento dos recursos hídricos do perímetro irrigado de Sumé, com o auxílio de consultas aos especialistas em engenharia de recursos hídricos e da literatura.

Após o armazenamento dos dados em uma base especializada em GIS, sucede-se a etapa de pré-processamento, que demanda esforço característico de uma análise multicritério em decorrência da diversidade de tipologias e fontes de informações envolvidas. Para tanto, após o armazenamento dos dados em formatos: *.txt*, *.dwg* e *.shp* no GIS, os mesmos foram processados através de ferramentas do *software* ArcGIS 10.3.1, utilizado neste trabalho. Os critérios selecionados, após espacializados, foram transformados em planos de informações *rasters* (Matrizes de pixels) numa resolução espacial de 10m x 10m e, conseguinte, padronizados numa mesma classe de adequação à análise. Após a padronização, os *rasters* passaram pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP) (SAATY, 1977, 1980, 1990) no GIS, ou seja, realizou-se a comparação pareada numa matriz evidenciada pela escala de intensidade de importância de Saaty entre os atributos de cada critério e, conseguinte, entre os critérios técnico, econômico e ambiental para estabelecimento dos pesos. Para verificar a consistência da matriz após a obtenção dos pesos observa-se a Razão de Consistência (CR) que deve ser menor que 0,1 (SAATY, 1977; MARINONI, 2004; BOROUSHAKI; MALCZEWSKI, 2008).

Os critérios/atributos selecionados, a princípio, e comparados par a par foram divididos, conforme foi mostrado (Tabelas 1, 2 e 3) em critérios técnicos (CT), critérios econômicos (CE) e critérios ambientais (CA) para melhor configuração do problema, modelagem espacial e a tomada de decisão. O *raster* obtido para cada critério (CT, CE e CA) possibilitou um novo processo de comparação pareada com objetivo de encontrar um *raster*, que neste caso corresponde às alternativas. Ao encontrar as áreas adequadas e inadequadas para o uso da água superficial torna-se possível o gerenciamento da demanda, que corresponde à tomada de decisão por parte do analista ou órgão competente.

Figura 2. Estrutura do *GIS-MCDA*.



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

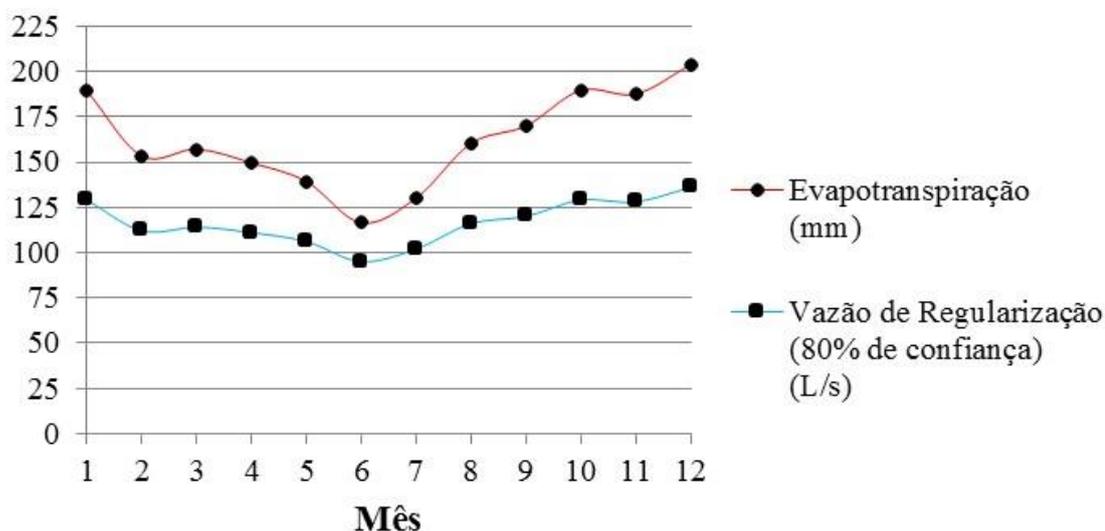
5.1 Diagnóstico quali-quantitativo da água superficial

Atualmente, a situação do reservatório de Sumé é crítica: conta com 5,8% da capacidade máxima (informação de 14/09/2016), ou seja, encontra-se no estado de observação pela AESA, com 5,8 milhões de metros cúbicos. Diante desta situação, com base na PNRH (BRASIL, 1997) seria ilegal o uso da água para irrigação, tendo em vista o fundamento da referida política que evidencia no artigo 1º, inciso III que “em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”. No entanto, aspectos importantes a serem considerados que agravam esta situação são as retiradas de água excessivas sem planejamento através de caminhões pipas e a prática da irrigação às margens do reservatório, como ocorre em outros reservatórios no Nordeste como o Epitácio Pessoa/Boqueirão-PB (NUNES; GALVÃO; RÊGO, 2016). Atualmente, o perímetro irrigado de Sumé encontra-se desativado com relação ao abastecimento pelo reservatório, no entanto, na última década, em meados de 2008, 2009 e 2010 o reservatório atingiu sua capacidade máxima (CANTALICE, 2009; SILVA, 2015).

As vazões mensais de regularização (janeiro/dezembro) do reservatório, considerando um nível de confiança de 80%, são apresentadas na Figura 3, que diz respeito às disponibilidades (vazões regularizadas) e às demandas (representada pela evapotranspiração potencial) (BRASIL, 2007). Tais informações são essenciais para a regularização, de maneira a

possibilitar a distribuição da água nos lotes, indicando os Lotes Potencialmente Irrigáveis (LPI) após a modelagem espacial, o que se caracteriza como gerenciamento da demanda.

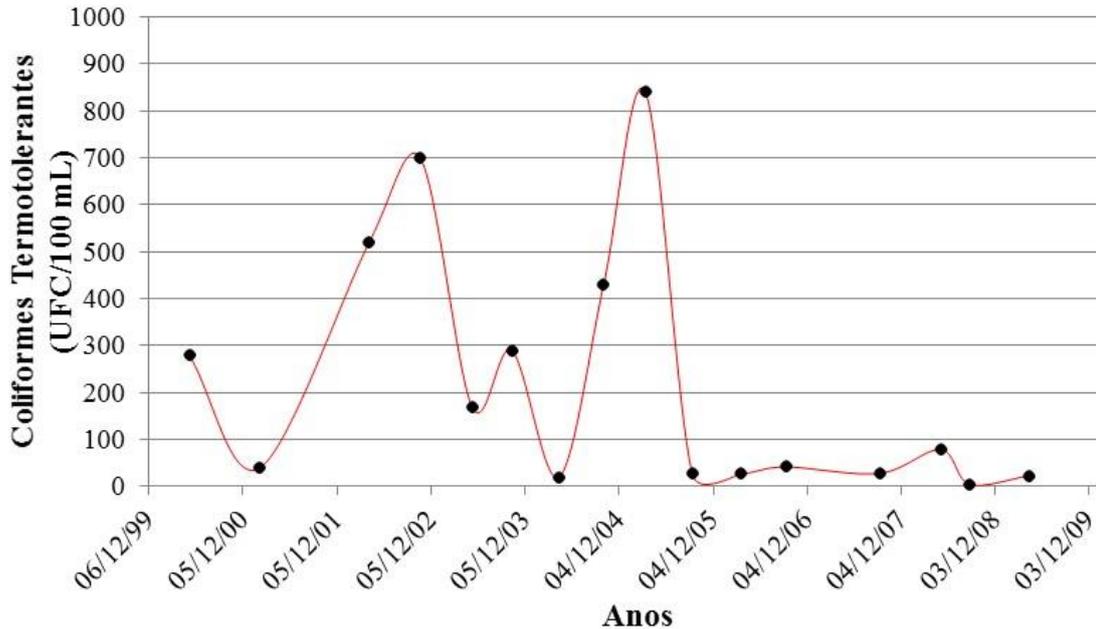
Figura 3. Evolução no decorrer do ano da demanda e disponibilidade hídrica.



Fonte: BRASIL (2007).

Portanto, considerando as restrições apresentadas e assegurando a demanda para abastecimento humano com base na outorga concedida à CAGEPA pela ANA de uma vazão de 36,11 L/s e adoção de vazão ecológica de 5 L/s, a vazão restante pode ser destinada a irrigação no perímetro (BRASIL, 2007). Assim, podemos mediante esta relação obter aproximadamente a área possível de irrigação no perímetro (VIEIRA, 2002). A partir da relação de disponibilidade/demanda, seria possível irrigar aproximadamente 120 hectares em média, anualmente, com águas do reservatório de Sumé, dos 287 hectares de área irrigável disponível (ver disponibilidade hídrica na Figura 3).

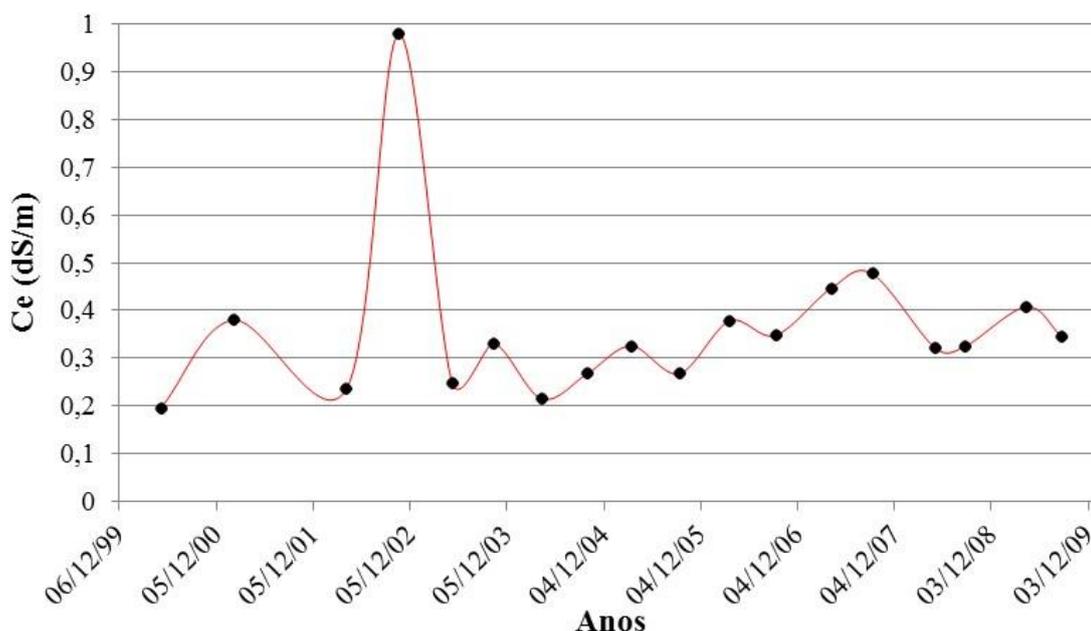
A qualidade da água do reservatório de Sumé, ao longo dos anos (entre os anos de 2000 e 2009, conforme informações da AESA e SUDEMA: Figura 4) tem apresentado quanto aos coliformes termotolerantes, níveis que não ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação vigente, resolução nº 357/2005 para águas destinadas a irrigação, ou seja, os valores mensais estiveram sempre menor que 1000 Unidades Formadora de Colônias (UFC)/100 mL da amostra, considerando o reservatório como Classe 2 para águas doces, que corresponde a uma água que pode ser destinada à irrigação de hortaliças e frutíferas (BRASIL, 2005).

Figura 4. Níveis de coliformes termotolerantes do reservatório de Sumé.

Fonte: AESA (2016).

No entanto, observa-se em alguns anos que à medida que o reservatório recebe aporte de água, como é o caso de outubro de 2004 e março de 2005 tal parâmetro esteve próximo do valor máximo permitido, respectivamente, 700 e 840 UFC/100 mL da amostra; isto quando o reservatório apresentava uma capacidade em torno de 50%. Após o período de chuvas a tendência do parâmetro é manter-se bem abaixo dos mencionados. Diante de tais informações, devido aos baixos valores, a referida água pode ser destinada a irrigação de hortaliças (herbácea ou fruto) e frutíferas, considerando que em média o valor de coliformes termotolerantes encontra-se em torno de 220 UFC/100 mL, com desvio padrão da ordem de 268.

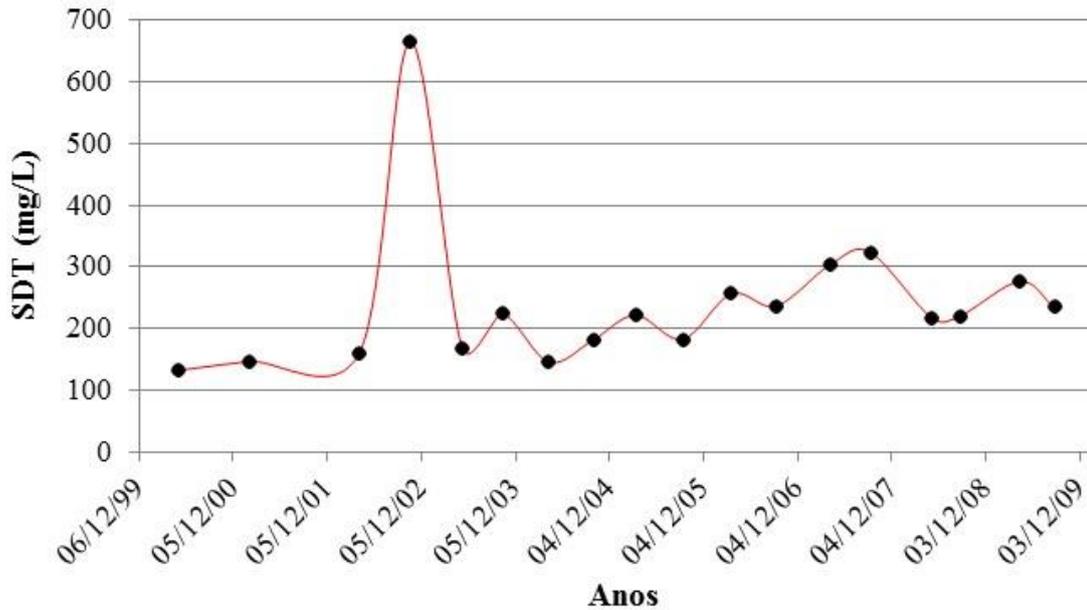
Além do parâmetro microbiológico citado, a condutividade elétrica da água do reservatório representa um fator preponderante para produção agrícola no perímetro, principalmente em solos semiáridos onde o conteúdo de sal da água de irrigação pode ser elevado devido às condições climáticas. O gráfico abaixo (Figura 5) demonstra os níveis da condutividade elétrica da água do reservatório no mesmo período, com análises realizadas em sua maioria no primeiro e segundo semestre de cada ano:

Figura 5. Níveis de condutividade elétrica do reservatório de Sumé.

Fonte: AESA (2016).

Em linhas gerais, os dados demonstram que a Ce ao longo dos anos citados tem sido em média de 0,361 dS/m. Com desvio padrão de 0,172 dS/m e com valor máximo de 0,979 dS/m encontrado em outubro de 2002 quando então o reservatório apresentava 5% de sua capacidade. Nesse contexto, com base na informação da Tabela 3 que diz respeito ao grau de restrição de uso da água, não há nenhuma restrição para uso da água do reservatório no perímetro irrigado para o referido parâmetro, exceto em situações de baixa capacidade, onde há elevação na concentração de sais, sendo necessário intensificar o monitoramento para esse parâmetro.

Outro parâmetro básico para o caso de estudo conforme apresentado na Tabela 3 é a concentração de Sólido Dissolvido Total (SDT). As águas do reservatório estiveram abaixo do valor máximo permissível pela resolução n° 357/2005 que estabelece um limite de 500 mg/L para águas destinadas a irrigação (BRASIL, 2005), exceto também, para o mês de outubro de 2002 onde o parâmetro atingiu um valor de 665 mg/L. O gráfico a seguir (Figura 6) demonstra a evolução do parâmetro no decorrer dos anos:

Figura 6. Concentrações de SDT do reservatório de Sumé.

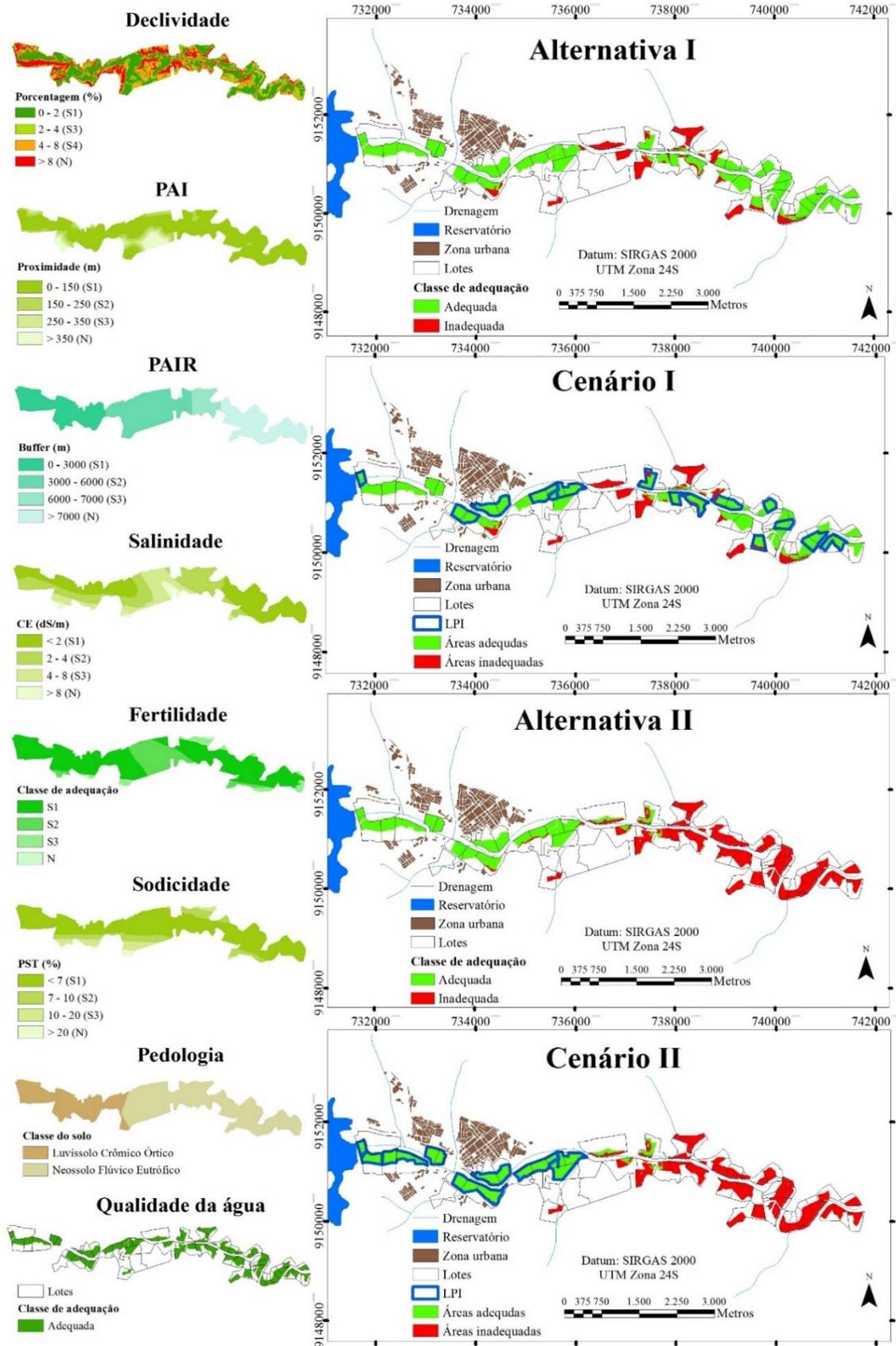
Fonte: AESA (2016).

Com base nas informações, as concentrações de SDT encontram-se em média com valor de 239,2 mg/L, e o desvio padrão de 119,2. Sendo assim, água com valores menores que 500 mg/L para este parâmetro não apresentam nenhum risco seja ao solo ou cultura.

5.2 Critérios que influenciam no gerenciamento da água superficial

Na Figura 7, abaixo, são apresentados os CT, CE e CA utilizados na modelagem espacial. De maneira geral, como observado, a declividade do terreno e a PAI apresentaram uma área de, respectivamente, 354,45 (42,56%) e 650,95 (78,15%) hectares altamente adequados. Em relação à fertilidade do solo, o perímetro apresenta condições adequadas para desenvolvimento das culturas cultivadas, principalmente, devido as boas concentrações de K, Ca, Mg e P que compõem capacidade do solo de resistir à troca de cátions, com níveis baixos de acidez potencial e elevada soma de bases.

Figura 7. CT, CE e CA, Alternativas e Cenários da GIS-MCDA.



O solo apresenta valores elevados de fósforo disponível e o pH situa-se acima de 7,0, de forma que quanto mais próximo deste valor, mais adequado torna-se o pH do solo para realização dos processos físico-químicos. Segundo proprietários dos lotes e especialistas que tiveram como estudo de caso o perímetro de Sumé, as informações apontam que os primeiros lotes são os mais produtivos (próximos à zona urbana e reservatório), bem como, os localizados na parte inferior, conforme encontrado no mapa de fertilidade e salinidade do solo.

Verifica-se também no mapa de fertilidade do solo uma faixa intermediária considerada como moderadamente adequada. Essa informação corrobora com o alto índice de salinidade encontrado nessa faixa (ver mapa de salinidade, Figura 7). Segundo D'Almeida et al. (2005), no solo, os efeitos da salinidade no desenvolvimento da planta são advindos das modificações nas propriedades químicas e físicas. No que diz respeito às propriedades químicas, podem ser destacado o aumento demasiado de sais e sódio trocável que, conseqüentemente, influencia na fertilidade.

Em relação à sodicidade, faixas inadequadas (solos fortemente sódicos) situam-se à margem do Rio Sucuru, convergindo em parte com o mapa de salinidade, em especial, na área onde está contido o riacho Oiti. As informações encontradas no mapa de salinidade e sodicidade convergem claramente com outra informação do relatório do DNOCS (1968), que classifica tais áreas como Unidade Sucuru Salgada (USS), com mais de 70 ha. No caso de estudo, tais unidades apresentam solos de medianamente a fortemente sódicos, correspondendo também a pouco mais de 70 ha do perímetro irrigado.

O solo do perímetro apresenta atividade alta da fração argila e saturação por bases altas conforme revelam as análises físico-químicas. Estes solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural que variam de bem a imperfeitamente drenados, normalmente são pouco profundos de 60 a 120 cm, e em grande parte possuem mudança textural abrupta, conforme constatado em sondagem à percussão (SPT). Uma faixa de solo apresenta horizonte textural argila arenosa de cor escura, intercalada por uma areia média e grossa, pouco compactada de cor clara. Outra faixa de solo presente no perímetro possui uma textura de caráter mais arenosa em relação à primeira parte do perímetro.

Considerando as culturas atualmente cultivadas no perímetro, bem como tendo em vista as informações apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6 que apresentam alguns parâmetros de importância no contexto da irrigação, e adotando as restrições apresentadas na Tabela 3, observa-se que diante os parâmetros estudados, a água do reservatório não apresenta riscos sejam eles de comprometer o solo e culturas no que tange aos aspectos químicos e biológicos. Assim, as áreas irrigadas do perímetro são adequadas para irrigação com essa fonte hídrica, pois entende-se que não há restrição para as culturas ou solo.

5.3 Aplicação da GIS-MCDA para o gerenciamento da água superficial

A utilização de critérios técnicos, econômicos e ambientais neste trabalho tem por objetivo proporcionar uma melhor problematização do caso de estudo, bem como facilitar a comparação aos pares dos atributos/critérios e, conseqüentemente, obter melhores resultados acerca da modelagem espacial. Cada critério ao ser comparado descreve uma realidade que demonstra a tomada de decisão para o gerenciamento dos recursos hídricos no perímetro irrigado de Sumé. Na verdade, as comparações permitem o estabelecimento de pesos que configuram características particulares as alternativas criadas a partir da soma ponderada.

Com relação aos critérios técnicos na Tabela 4, a comparação fundamenta-se no ponto de vista dos desafios técnicos existentes ao gerenciar água para um perímetro com mais de 280 hectares de áreas irrigadas. Avaliar condições de declividade do terreno (CT₃), a distância

existente entre as áreas irrigadas (CT₂) para facilitar a tomada de água de um mesmo recurso e a proximidade das áreas irrigadas ao reservatório (CT₁) são fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos de maneira geral. Áreas mais distantes do reservatório tornam-se mais inadequadas, tais áreas mais afastadas do reservatório estão propícias a não receberem água advinda do reservatório. Portanto, o referido CT₁ recebeu uma maior importância relativa (Tabela 4), seguido da declividade do terreno; pois do ponto de vista técnico, não importa apenas a proximidade entre as áreas irrigadas, é fundamental que, além de possuir declividade adequada para o cultivo, as áreas estejam próximas ao reservatório. Mishra, Deep e Choudhary (2015) buscaram encontrar locais com potencial para agricultura biológica, em Uttarakhand, na Índia, e também consideram a declividade do terreno como um critério fundamental em sua análise, estabelecendo um peso percentual de 30% (do total), sendo o uso do solo o principal critério (33%) no modelo. No mais, eles utilizaram critérios como geologia, textura do solo, drenagem e estrada, respectivamente, com os pesos de 6%, 9%, 19% e 4%. Vale salientar que, os critérios adotados por Mishra, Deep e Choudhary (2015) não foram subdivididos em técnicos, econômicos e ambientais, para uma melhor fundamentação na tomada de decisão.

Tabela 4. Comparação pareada dos atributos/critérios.

| Critérios técnicos | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------|
| | CT₁ | CT₂ | CT₃ | Peso (%) | CR |
| CT₁ | 1 | 7 | 3 | 66,942 | 0,007 |
| CT₂ | 0,413 | 1 | 0,333 | 8,795 | |
| CT₃ | 0,333 | 3 | 1 | 24,264 | |
| Critérios econômicos | | | | | |
| | CE₁ | CE₂ | CE₃ | Peso (%) | CR |
| CE₁ | 1 | 5 | 2 | 58,155 | 0,004 |
| CE₂ | 0,2 | 1 | 0,333 | 10,945 | |
| CE₃ | 0,5 | 3 | 1 | 30,9 | |
| Critérios ambientais | | | | | |
| | CA₁ | CA₂ | Peso (%) | CR | |
| CA₁ | 1 | 3 | 75 | 0,0 | |
| CA₂ | 0,333 | 1 | 25 | | |

O CE, a princípio, deve ser considerado como mais importante, principalmente, pelo fato de tais atributos contribuírem para produtividade agrícola. Em primeiro lugar, como já descrito, solos com alta salinidade (CE₁) influenciam claramente no desenvolvimento da planta, sendo neste caso de estudo dentre os CE, a salinidade, o que mais possui importância relativa, seguido do critério que diz respeito à fertilidade do solo (CE₂), pois o mesmo envolve uma gama de parâmetros e relaciona-se com a salinidade.

A qualidade da água (CA₁) corresponde a um critério essencial no gerenciamento dos recursos hídricos, mais importante que a textura do solo. Uma água com qualidade inadequada seja com condutividade elétrica, SDT ou até mesmo os níveis de coliformes termotolerantes, pode comprometer as condições do solo e as culturas.

Nesse contexto, para obtenção de um mapa com alternativas de uso da água superficial, faz-se necessário à comparação dos critérios principais CT, CE e CA. A Tabela 5 apresenta duas comparações distintas, que correspondem a duas alternativas encontradas:

Tabela 5. Comparação pareada dos CT, CE e CA, para obtenção das Alternativas I e II.

| AHP – Alternativa I | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| | CT | CE | CA | Peso (%) | CR |
| CT | 1 | 0,333 | 7 | 28,974 | |
| CE | 3 | 1 | 9 | 65,536 | 0,077 |
| CA | 0,143 | 0,111 | 1 | 5,49 | |
| AHP – Alternativa II | | | | | |
| | CT | CE | CA | Peso (%) | CR |
| CT | 1 | 3 | 9 | 65,536 | |
| CE | 0,333 | 1 | 7 | 28,974 | 0,077 |
| CA | 0,111 | 0,143 | 1 | 5,49 | |

Estas comparações da AHP – Alternativa I e II, fundamentam-se no fato de que a água advinda do reservatório possui uma qualidade excelente do ponto de vista microbiológico e químico, quanto aos parâmetros avaliados, principalmente, em relação a outras fontes como águas subterrâneas e residuárias. Por se tratar de uma água de excelente qualidade, isso implica dizer que neste caso, tal critério não seja relevante do ponto de vista da comparação pareada, uma água de qualidade adequada não exerce impactos negativos ao meio ambiente e a produção de culturas, recebendo neste processo de comparação aos pares um peso de 5,49%. As ponderações utilizadas no modelo *GIS-MCDA* devem considerar as diferenças entre os critérios utilizados, de maneira que se faz necessária a variação dos pesos, pois a depender dos resultados apresentados pelo modelo, conforme Padilha, Trevisan e Cruz (2014), far-se-á necessário o aumento ou diminuição do peso, ou até mesmo exclusão de algum critério quando não influenciarem no resultado. Os critérios e suas ponderações para tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos variam de acordo com cada caso de estudo. Em específico, por exemplo, para identificar locais com potencial de gerenciamento de recarga artificial de aquífero com águas pluviais na bacia do rio Damodar, na Índia, Singh, Jha e Chowdary (2017) utilizam-se também da técnica do AHP, isto com a adoção de critérios como: coeficiente de escoamento superficial, declividade e densidade de drenagem, sendo os dois primeiros critérios citados os mais valiosos no *GIS-MCDA*, respectivamente, os pesos percentuais foram 39,1%, 34,8% e 26,1%. No entanto, na construção do modelo em GIS, Singh, Jha e Chowdary (2017) não fazem distinção dos critérios em grupos de CT, CE e CA para tomar decisão. Chen, Yu e Khan (2010, 2013) buscaram encontrar áreas com aptidão agrícola no sul de Queensland (Austrália), com base no AHP em GIS, mas não consideraram na modelagem aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos disponíveis para irrigação.

Duas comparações são exibidas na Tabela 5, conseqüentemente, dão origem as Alternativas I e II (Figura 7). A primeira delas está representada no AHP – Alternativa I, onde a comparação aos pares estabelece uma maior evidência para os critérios econômicos (CE), e a segunda, AHP – Alternativa II, evidencia os critérios técnicos (CT).

O CE considera em sua essência, as condições de salinidade e fertilidade do solo, conforme observado na Tabela 5, AHP – Alternativa I. O modelo demonstra que aproximadamente 61,80 hectares (21,6%) das atuais áreas irrigadas são inadequados para irrigação. Por outro lado, pouco mais de 224 hectares (78,4%) são altamente adequados. Assim, com base no estabelecimento dos critérios, o modelo apontou os lotes 18, 19, 23, 31 e 34 como integralmente inadequados. No modelo *GIS-MCDA* aplicado por Walke et al. (2012), para identificação de solos adequados quanto a produção de algodão na região central da Índia, na

bacia hidrográfica Ringnabodi, Distrito de Nagpur, a fertilidade do solo é um dos critérios adotados no modelo. Além disso, são consideradas as características climáticas (precipitação e temperatura), características locais (declividade, drenagem e outros) e características do solo (textura do solo, profundidade do solo e outros). Para este estudo citado, o peso percentual maior é dado aos atributos/critérios que compõem as características locais (cerca de 55% do total), desta maneira, o modelo mostra uma área de 326,9 hectares (16,6%) como inadequados para cultivo de algodão (dos 1971 hectares disponíveis) e uma área de 966,7 hectares (49,1%) moderadamente adequada. Nos estudos de Walke et al. (2012), também não houve um relacionamento dos critérios abordados com o recurso hídrico disponível, o que difere e revela o avanço do modelo proposto por este trabalho, pois para tomada de decisão em áreas agrícolas quanto a quais culturas utilizar, depende, substancialmente, da quantidade e qualidade do recurso hídrico a disposição.

Tomando por base os CT, em específico, o AHP – Alternativa II, como os mais importantes do ponto de vista para o gerenciamento dos recursos hídricos, conforme escala de intensidade de importância estabelecida na Tabela 5, essa construção fundamenta-se na realidade de que os canais sofrem grande risco de obstruções seja devido à erosão, ou falta de manutenção por parte dos irrigantes e/ou órgão responsável. Portanto, a modelagem aponta que os primeiros lotes são mais adequados (Figura 7, Alternativa II) considerando as questões técnicas inerentes as infraestruturas hídricas.

Nesse contexto, aproximadamente 120,45 hectares (42,1%) são adequados (ou seja, pouco mais de 165 hectares, 57,9%, são inadequados) considerando os critérios supracitados da AHP – Alternativa II. Assim, conforme apresenta o modelo, torna-se inviável a manutenção da irrigação por água superficial na parte inferior do perímetro devido a tais desafios, sendo necessária para a Alternativa II, outra fonte de abastecimento na parte inferior do perímetro irrigado. Principalmente, pelo fato do reservatório suportar irrigação de apenas 120 hectares, com base na relação de disponibilidade/demanda (item 5.1). Nos estudos de Anane et al. (2012) na bacia do aquífero Nabeul-Hammamet (na Tunísia), eles encontraram uma área cerca de 31% (dos 11426 hectares disponíveis) com potencial de irrigação com águas residuárias. Seus resultados apontaram que tais áreas prioritárias encontram-se próximas das estações de tratamento de esgotos desta bacia, a qual fornecem recurso hídrico para irrigação. Desta maneira, seus resultados corroboram com os resultados apresentados pela Alternativa II (Figura 7), pois mostra que os lotes mais adequados para irrigação com água são aqueles que estão mais próximos do reservatório de Sumé. Estes resultados comparativos ressaltam a importância dos critérios técnicos que foram adotados em ambos estudos, de maneira que para a tomada de decisão joga-se por bem adotar seja aspectos técnicos, econômicos e ambientais para escolher qual alternativa deva ser implementada. No estudo mencionado, os critérios mais restritivos foram profundidade do solo e o uso do solo, considerados como sendo, respectivamente, critérios do grupo de adequação da terra e conflitos de recursos.

5.4 Cenarização

Para o Cenário I na Figura 7, adotou-se como base o resultado da Alternativa I, alternativa na qual apresenta uma área pouco mais de 60 ha como inadequada. Surge então a necessidade da tomada de decisão quanto ao gerenciamento da demanda de água superficial para irrigação, que se constitui, neste caso de estudo como criação de possíveis cenários. Assim, considera-se para este cenário, as restrições pré-estabelecidas quanto à qualidade química e microbiológica da água para irrigação, uma vez que, cada fonte apresenta uma qualidade distinta. Águas superficiais possuem qualidade diferenciada das águas subterrâneas, bem como,

águas subterrâneas também distinguem-se de águas residuárias. Ou seja, a princípio, para o Cenário I a irrigação deve observar os cultivos em cada lote e, conseguinte, a água é distribuída para os Lotes Potencialmente Irrigáveis (LPI).

Essa distribuição, em área, corresponde ao máximo de 120 hectares mensais conforme descrita na relação disponibilidade/demanda. Para tanto, tendo em vista que a água do reservatório não atende as áreas irrigadas totais do perímetro, a tomada de decisão sobre quais áreas deverão ser irrigadas é determinante para manutenção do perímetro. Sendo assim, considerando as restrições supracitadas com relação ao valor da qualidade da água a ser irrigada e as culturas realizadas pelos irrigantes, construiu-se o Cenário I considerando apenas as atuais áreas irrigadas que estão sendo produzidas culturas. O Cenário I, na Figura 7, apresenta um planejamento estratégico do uso do recurso hídrico superficial tendo em vista, a priori, as áreas irrigadas adequadas apontadas na Alternativa I. Nesse sentido, os lotes adequados foram apontados como LPI pelo fato de terem cultivado no decurso de 2015 ou atualmente praticado culturas que necessitam de uma água com qualidade química e microbiológica mais adequada. Sendo assim, algo em torno de 118 ha corresponde a LPI, devido suas práticas agrícolas ainda permanecerem, o que atende a relação de disponibilidade/demanda. Lotes que apresentaram áreas irrigadas inadequadas menores que 10%, quando dentro da restrição pré-estabelecida foram também considerados com LPI.

Ao considerar os desafios técnicos para o gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente, diante a necessidade de reativação do perímetro irrigado por água superficial, o cenário que ilustra tal desafio corresponde ao Cenário II apresentada na Figura 7. Para o Cenário II, toma-se como base as culturas predominantes no início do projeto do perímetro irrigado, que são elas: hortaliças como tomate industrial e comercial, e frutífera como melancia, melão e banana, que necessitam de uma água com condições químicas e microbiológicas melhores. Neste contexto, aproximadamente 112 hectares seriam irrigados com água do reservatório. Tais lotes são LPI devido ao fato que as culturas citadas situam-se rente ao solo, assim, necessitam, principalmente, de uma água com níveis de coliformes termotolerantes adequados, além de níveis de condutividade elétrica e SDT adequados para sua prática em relação a outros tipos de culturas.

A luz das Alternativas I e II, bem como, dos Cenários I e II construídos, ao comparar tais resultados com a realidade de perímetros irrigados presentes na Tunísia (ANANE et al., 2012; BRAHIM-NEJI; RUIZ-VILLAVERDE; GONZÁLEZ-GÓMEZ, 2014; BRAHIM-NEJI; TURKI, 2015), observa-se que a problemática difere no que tange ao recurso hídrico utilizado, pois, a princípio, existe um viés voltado para o uso da água residuária tratada em tais perímetros/ou áreas irrigadas. Neste contexto, Brahim-Neji, Ruiz-Villaverde e González-Gómez (2014) criaram cinco alternativas para auxiliar a tomada de decisão em *GIS-MCDA* quanto ao futuro do Perímetro de Cebala, quais foram: (i) em situação de escassez hídrica, sem água convencional e águas residuárias, (ii) a manutenção do uso da água residuária atual sem melhorias em sua qualidade, (iii) melhorias na qualidade da água sem atingir o tratamento terciário (sem desinfecção), (iv) melhorias na qualidade das águas residuárias a nível terciário, e por fim, (v) uso do recurso hídrico convencional do canal de Medjerda. No estudo mencionado, mais de 80% dos irrigantes deste perímetro estavam dispostos a pagar por uma água de melhor qualidade. Os irrigantes que não estavam dispostos a pagar mais por uma melhor água de qualidade são, principalmente, aqueles que não usam água residuária reciclada para irrigação.

Noutro estudo de Brahim-Neji e Turki (2015), no Perímetro de Cebala, após gerar cinco alternativas no modelo *GIS-MCDA*, constataram que a melhor alternativa apresentada como mais próxima da ideal, leva em consideração a criação de gado, além de nessas áreas indicadas

as águas residuárias tratadas serem muito utilizadas para irrigação de forrageiras e cereais. A alternativa obtida agrupou cerca de 7 zonas (das 12 zonas existentes). No entanto, uma delas por critérios técnicos não pode ser incluída no cenário de delimitação do perímetro, pois não respeita a restrição quanto à continuidade espacial. No perímetro irrigado de Sumé não se faz uso de tal recurso hídrico, no entanto, há necessidade de um olhar mais aprofundado com a criação de possíveis alternativas e cenários para uso deste recurso, tendo em vista que existe uma estação de tratamento de esgoto em Sumé, e que, conforme demonstra Cenário I, na Figura 1, não há possibilidade alguma de irrigar todas as áreas adequadas apresentadas pelo modelo *GIS-MCDA* com água do reservatório. Assim, tais áreas restantes (pouco mais de 100 hectares para o Cenário I), tidas como áreas adequadas podem receber este recurso hídrico, é claro, mediante adoção de novas restrições no modelo, como qualidade e quantidade do recurso disponível pela estação de tratamento de esgoto, culturas agrícolas adotadas, solo e outros critérios essenciais para tomada de decisão. Segundo Brahim-Neji e Turki (2015), na Tunísia, 80% da água de reuso é destinada para agricultura.

6 CONCLUSÕES

A aplicação do AHP como método de análise multicritério em GIS, possibilitou a construção de alternativas e cenários que auxiliam na tomada de decisão para a melhor gestão da água nas áreas irrigadas do perímetro. O gerenciamento dos recursos hídricos fundamentado em critérios técnicos, econômicos e ambientais possibilitou a construção de alternativas de gestão condizentes com a realidade do perímetro, sendo os critérios de salinidade do solo e proximidade das áreas irrigadas ao reservatório os mais restritivos.

A modelagem demonstrou que na Alternativa I, há possibilidade de um melhor gerenciamento da demanda de água no perímetro irrigado com água do reservatório, por haver um maior número de áreas irrigadas adequadas ao longo do perímetro em relação à Alternativa II. A Alternativa II por questões técnicas, limita o uso da água apenas nas áreas irrigadas próximas ao reservatório, de maneira que faz-se necessário o estudo de outra fonte hídrica como água subterrânea ou até mesmo água residuária proveniente da estação de tratamento de esgoto de Sumé para abastecimento de lotes na parte inferior do perímetro irrigado.

7 AGRADECIMENTOS

Ao projeto BRAMAR (Estratégias e tecnologias para a escassez de água no nordeste brasileiro) com apoio da Finep, pelo suporte em todas as fases da pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. **Recursos hídricos**: monitoramento da qualidade da água dos açudes. João Pessoa, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Encarte especial sobre crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014.** Brasília, DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2015. 30 p.

AHRENDTS, H.; MAST, M.; RODGERS, C. H.; KUNSTMANN, H. Coupled hydrological-economic modelling for optimised irrigated cultivation in a semi-arid catchment of West Africa. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 23, p. 385-395, 2008.

AKINCI, H.; OZALP, A. Y.; TURGUT, B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 97, p. 71-82, 2013.

ANANE, M.; BOUZIRI, L.; LIMAM, A.; JELLALI, S. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 65, p. 36-46, 2012.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. **Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n. 29, p. 1-11, 1985.

AZIZUR, R. M.; RUSTEBERG, B.; GOGU, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SAUTER, M. A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 99, p. 61-75, 2012.

BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. **Computers & Geosciences**, Amsterdam, v. 34, p. 399-410, 2008.

BRAHIM-NEJI, H. B.; RUIZ-VILLAVARDE, A.; GONZÁLEZ-GÓMEZ. Decision aid supports for evaluating agricultural water reuse practices in Tunisia: The Cebala perimeter. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 143, p. 113-121, 2014.

BRAHIM-NEJI, H. B.; TURKI, S. Y. GIS – based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 162, p. 78-86, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Elaboração de diagnóstico e plano de desenvolvimento do perímetro irrigado Sumé.** Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2007. v. 1, 206 p.

CANTALICE, L. R. **Gestão hídrica do reservatório Sumé-PB: potencialidades e fragilidades**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 25, p. 1582-1591, 2010.

CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 48, p. 129-140, 2013.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Tolerância das plantas à salinidade: efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472 p.

DNOCS. **Projeto Sumé Paraíba: aproveitamento hidro agrícola do açude público Sumé**. Recife: DNOCS, 1986. 203 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FEIZIZADEH, B.; JANKOWSKI, P.; BLASCHKE, T. A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis. **Computers & Geosciences**, Amsterdam, n. 64, p. 81-95, 2014.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa, 2006. 8 p

GUERRA, P. B. **Açudes públicos do Nordeste: relação dos reservatórios construídos até 1988**. 3. ed. rev. e aum. Fortaleza: DNOCS, 1990. 24 p.

KHEMIRI, S.; KHNISSI, A.; ALAYA, M. B.; SAIDI, S.; ZARGOUNI, F. Using GIS for the Comparison of Intrinsic Parametric Methods Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution in Scenarios of Semi-Arid Climate. The Case of Foussana Groundwater in the Central of Tunisia. **Journal of Water Resource and Protection**, Hubei Province, v. 5, n. 8, p. 835-845, 2013.

MACHIWAL, D.; JHA, M. K.; MAL, B. C. Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. **Water Resources Management**, Netherlands, v. 25, n. 5, p. 1359-1386, 2011.

MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. **Multicriteria decision analysis in geographic information science**. Heidelberg: Springer, 2015. 331 p.

MARINONI, O. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. **Computers & Geosciences**, Amsterdam, v. 30, p. 637-646, 2004.

MASSEI, G.; ROCCHI, L.; PAOLOTTI, L.; GRECO, S.; BAGGIA, A. Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 146, p. 491-504, 2014.

MASSOUD, F. I. A note on the need for accepted definitions and methods of characterization of salt affected soil. In: **Reunion de la subcomision de suelos salinos**, 1971, Servilha. International Society Soil Science, 1971.

MENDONÇA, J. R. N. **Do oásis à miragem**: uma análise da trajetória do Perímetro Irrigado de Sumé-PB no contexto das políticas de desenvolvimento para o Nordeste. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MISHRA, A. K.; DEEP, S.; CHOUDHARY, A. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 181-193, 2015.

MOSADEGHI, R.; WARNKEN, J.; TOMLINSON, R. MIRFENDERESK, H. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. **Computers, Environment and Urban Systems**, Amsterdam, v. 49, p. 54-65, 2015.

NUNES, T. H. C.; GALVÃO, C. O.; RÊGO, J. C. Curva-guia para incremento sazonal da outorga em reservatórios com baixas vazões de regularização. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 493-501, 2016.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da bacia hidrográfica do Alto Uruguai. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 535-548, 2014.

PEDRERO, F.; ALBUQUERQUE, A.; CAVALEIRO, V.; ALARCÓN, J. J. Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 105-116, 2011.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

RUFINO, I. A. A. **Gestão de recursos hídricos em ambientes urbanos costeiros**: modelagem e representação do conhecimento em sistema de informação geográfica. 2004. 166 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Francisco, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **Multicriteria decision making: the analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

SILVA, A. C. S.; SILANS, A. M. B. P.; SILVA NETO, A. F.; PORTO, R. Q. Considerações sobre aspectos sociais e físicos da açudagem na bacia do açude Sumé – PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8, 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: RBRH, 2009.

SILVA, P. H. P. **Uso de cadeia causal na gestão de recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa-PB (1998-2014)**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SILVA, S. A. F. **Análise multicritério espacial no gerenciamento dos recursos hídricos no perímetro irrigado de Sumé-PB**. 2016. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SINGH, L. K.; JHA, M. K.; V. M. CHOWDARY. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 142, p. 1436-1456, 2017.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMA, 2003. 248 p.

VARELA-ORTEGA, C.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I.; ESTEVE, P.; BHARWANI, S.; FRONZEK, S.; DO WNING, T. E. How can irrigated agriculture adapt to climate change? Insights from the Guadiana Basin in Spain. **Regional Environmental Change**, Heidelberg, v. 16, n. 1, p. 59-70, 2014.

VIEIRA, L. J. S. **Emprego de um modelo matemático de simulação do fluxo subterrâneo para definição de alternativas de exportação de um aquífero aluvial**. 2002. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

WALKE, N.; OBI REDDY, G. P.; MAJI, A. K.; THAYALAN, S. GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India. **Computers & Geosciences**, Amsterdam, v. 41, p. 108-118, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva: WHO, 2006.