

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CIRO JOSÉ JARDIM DE FIGUEIREDO

MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL PARA AVALIAÇÃO
DA VULNERABILIDADE EM HOMICÍDIO

Recife
2018

CIRO JOSÉ JARDIM DE FIGUEIREDO

**MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL PARA
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM HOMICÍDIO**

Tese de Doutorado apresentada à UFPE para a
obtenção de grau de Doutor como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

Área de Concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Caroline Maria de
Miranda Mota.

Recife
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260.

F475m Figueiredo, Ciro José Jardim de.
Modelo multicritério de apoio a decisão espacial para avaliação da vulnerabilidade em homicídio. / Ciro José Jardim de Figueiredo. - 2018.
144folhas, Il., e Tabs.

Orientadora: Prof.^a Dra. Caroline Maria de Miranda Mota.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Engenharia de produção, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia de produção. 2. Apoio multicritério à decisão.
3. Sistemas de informação geográfica. 4. Segurança pública. I. Mota,
Caroline Maria de Miranda (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5CDD (22. ed.)

BCTG/2018-252

CIRO JOSÉ JARDIM DE FIGUEIREDO

MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL PARA AVALIAÇÃO
DA VULNERABILIDADE EM HOMICÍDIO

Tese de Doutorado apresentada à UFPE para a
obtenção de grau de Doutor como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato CIRO JOSÉ JARDIM DE FIGUEIREDO, APROVADO em : 09/05/2018.

Banca examinadora

Prof^ª. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutora (UFPE)

Prof^ª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE)

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Prof^ª. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS, Doutora (UFPE)

Prof. MISCHEL CARMEN NEYRA BELDERRAIN, Doutora (ITA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e N. Sra. de Nazaré a qual sou devoto.

Aos meus pais e irmãos pela compreensão da minha ausência.

A professora Caroline Mota pelos ensinamentos durante esta jornada.

Aos meus amigos pelo imenso respeito à admiração: Débora, Jadielson, Madson e Creuza.

Ao Conselho Nacional Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro durante o doutorado.

A Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPE pelo apoio estrutural.

RESUMO

Os Sistemas de Informação Geográfica e Apoio Multicritério à Decisão são temas que possuem integração consolidada na literatura (SIG-AMD). Por ser um assunto com vasta aplicabilidade, há uma disposição para apoiar processos decisórios com ênfase na análise dos dados perante o aspecto espacial, permitindo um entendimento maior do problema. Neste sentido, este estudo tem como objetivo a modelagem para identificação da vulnerabilidade de áreas em segurança pública. Nesse estudo, foi avaliada a vulnerabilidade em relação a homicídios. Durante a pesquisa, foi feita a sistematização das publicações sobre SIG-AMD, no período de 2006-2016, para traçar um panorama mundial sobre o assunto, incluindo áreas de destaque e tendências que ainda não haviam sido documentadas na literatura. Em conjunto, foram propostos dois modelos para o setor de segurança pública englobando o tema. Um modelo foi desenvolvido para mapear as regiões vulneráveis à homicídio em uma cidade do Brasil. O segundo modelo apresenta uma proposta para o mesmo problema incluindo preferências interativas. Em ambos os resultados, os locais mais vulneráveis são os que possuem piores condições relativas a dados sociais, econômicos e infraestrutura urbana. Portanto, os resultados alcançados são promissores quanto ao uso de modelos multicritério e o emprego das ciências geográficas no apoio de processos decisórios, demonstrando para um caso de segurança pública.

Palavras-chave: Apoio multicritério à decisão. Sistemas de informação geográfica. Segurança pública.

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) are topics that have been consolidated integration in the literature. Because it is a subject with wide applicability, there is a willingness to support decision-making processes with an emphasis on spatial data analysis, allowing a greater understanding of the problem. In this sense, this study has the objective to identify the vulnerability of areas in public security. In this study, vulnerability to homicide was assessed. During the research, GIS-MCDM publications were systematized in the period 2006-2016 to outline a global picture on the subject, including areas of prominence and trends that have not yet been documented in the literature. Therefore, two models were proposed for the public safety sector encompassing the theme. A model was developed to map the regions vulnerable to homicide in a Brazilian city. The second model presents a proposal for the same problem including interactive preferences. In both results, the most vulnerable places are those with worse conditions regarding social, economic and urban infrastructure data. Therefore, the results achieved are promising regarding the use of multicriteria models and the use of geographic sciences in supporting decision-making processes, demonstrating for the public security theme.

Keywords: Multi-criteria Decision making. Geographic information systems; Public security.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Relação entre SIG e seus componentes	19
Figura 2 - Distribuição dos artigos nas áreas delimitadas	30
Figura 3 - Número de artigos publicados entre 2006 e 2016.....	31
Figura 4 - Distribuição das publicações no mundo	32
Figura 5 - Principais palavras-chave	36
Figura 6 - Relações de co-autoria	44
Figura 7 - Componentes SIG-AMD	46
Figura 8 - Fluxograma usado na construção do modelo –SIG-AMD	59
Figura 9 - Local do estudo do SIG-AMD para segurança pública	67
Figura 10 - Desempenho dos critérios para a aplicação SIG-AMD	70
Figura 11 - Resultado da classificação SIG-AMD	73
Figura 12 - Resultado comparativo usando outros exemplos de referência. a) Primeiro resultado e b) segundo resultado	75
Figura 13 - Distribuição das alternativas entre as classes de decisão.....	77
Figura 14 - Fluxograma do modelo SIG-AMD para múltiplos decisores	82
Figura 15 - Fluxo espacial das informações (individuais e coletivas).....	90
Figura 16 - Localização da região de aplicação do modelo	91
Figura 17 - Divisão em Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH), Setor Censitário (SC) e a divisão usada neste estudo	92
Figura 18 - Qualidade da aproximação de cada decisor	96
Figura 19 - Interações do Nível de participação para classe Pelo menos.....	97
Figura 20 - Interações para o Nível de participação para classe No máximo	98
Figura 21 - Resultados individuais e coletivos, classe ($Cl_t \geq$) – Interação 1	100
Figura 22 - Resultados coletivos para classes Pelo menos.....	104
Figura 23 - Resultados coletivos para classes No máximo	105
Figura 24 - Comparação das alternativas não classificadas	106
Figura 25 - Resultados agregados para classe Pelo menos.....	109
Figura 26 - Resultados agregados para classe No máximo	110
Figura 27 - Alternativas de referência que violaram o princípio da dominância	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Áreas do conhecimento encontradas nos artigos SIG-AMD.....	29
Tabela 2 - Distribuição dos artigos por país	32
Tabela 3 – Distribuição dos artigos publicados sobre SIG-AMD	33
Tabela 4 - Principais áreas de pesquisa	34
Tabela 5 - Principais palavras-chave	35
Tabela 6 - Artigos com maior número de citações	38
Tabela 7 - Autores mais citado segundo ISI Web of Science	41
Tabela 8 - Subáreas, fatores usados e autores para Análise do meio ambiente.....	48
Tabela 9 - Subáreas, fatores usados e autores em Análise urbana	49
Tabela 10 - Subáreas, alguns fatores autores para a áreas de Riscos de solo	50
Tabela 11 - Subáreas, fatores utilizados e autores para Recursos hídricos	52
Tabela 12 - Subáreas, fatores usados e autores para a área Gerenciamento de resíduos.....	53
Tabela 13 - Subáreas, fatores usados e autores para a área de Gerenciamento energético	54
Tabela 14 - Dados descritivos dos critérios usados no modelo SIG-AMD.....	69
Tabela 15 - Exemplos de referência usados no modelo SIG-AMD	71
Tabela 16 - Descrição das regras de decisão obtidas pelo DRSA.....	72
Tabela 17 - Dados descritivos dos critérios usados	94
Tabela 18 - Regras de decisão individuais	101
Tabela 19 - Regras de decisão agregadas.	102
Tabela 20 - Qualidade da aproximação obtidas com os exemplos individuais e agregados ..	108
Tabela 21 - Comparação das médias dos critérios e das alternativas alocadas em $(C12 \geq)$ e $(C11 \leq)$	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contribuição da pesquisa.....	12
1.2	Objetivo da pesquisa	13
1.2.1	Objetivo específico	13
1.3	Metodologia	14
1.4	Estrutura da Tese	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD).....	16
2.2	Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	18
2.2.1	Composição das ciências espaciais	20
2.3.1	Histórico SIG-AMD	22
2.3.2	Integração SIG-AMD	24
2.3.3	Espacialmente Explícito e Implícito.....	24
2.4	Considerações do capítulo	26
3	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA: SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	27
3.1	Importância do estudo bibliométrico.....	27
3.2	Metodologia utilizada	27
3.3	Resultados	30
3.3.1	Levantamento descritivo – visão geral	30
3.4	Resultados bibliométricos	33
3.4.1	Principais revistas	33
3.4.2	Artigos mais citados	36
3.4.3	Autores mais citados.....	40
3.4.4	Componentes SIG-AMD	45
3.4.5	Grandes áreas.....	46
3.4.5.1	<i>Análise do meio-ambiente</i>	47
3.4.5.2	<i>Análise Urbana</i>	48
3.4.5.3	Risco do solo	49
3.4.5.4	<i>Gerenciamento de recursos hídricos</i>	51
3.4.5.5	<i>Gerenciamento de resíduos</i>	53
3.4.5.6	<i>Gerenciamento energético</i>	54
3.4.5.7	<i>Outros</i>	55
3.5	Considerações sobre o capítulo	56
4	MODELO SIG-AMD PARA AVALIAR NÍVEL DE VULNERABILIDADE....	58
4.1	Construção do modelo SIG-AMD para segurança pública	59
4.1.1	Levantamento dos dados e aspectos relevantes	60
4.1.2	Modelagem de preferências e escolha do método	61
4.1.2.1	<i>Notações do DRSA</i>	62
4.1.3	Resultados e recomendação	64
4.2	Aplicação numérica	65
4.2.1	Resultado do modelo SIG-AMD	65
4.2.2	Discussão	74
4.3	Considerações do capítulo	78
5	MODELO SIG-AMD INTERATIVO PARA AVALIAR NÍVEL DE VULNERABILIDADE.....	79
5.1	Contextualização em modelos com aprendizagem de preferências.....	79

5.2	Modelo de interatividade de preferências	81
5.2.1	Levantamento das preferências individuais.....	82
5.2.2	Agregação e aprendizagem de preferências	85
5.2.3	Síntese do modelo.....	89
5.3	Aplicação Numérica	90
5.3.1	Escolha da Região, critérios e classes de decisão.....	91
5.3.2	Decisores	94
5.3.3	Ambiente computacional.....	95
5.4	Resultados	95
5.5	Validação do modelo	107
5.6	Impacto nas políticas de segurança pública	111
5.7	Considerações do capítulo	113
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
6.1	Conclusões	114
6.2	Implicações da pesquisa	116
6.3	Limitações	117
6.4	Sugestões para estudos futuros.....	118
	REFERÊNCIAS	120

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios impostos à sociedade diz respeito ao planejamento do espaço geográfico. Como consequência, após o planejamento, existe a execução que requer recursos financeiros, mão-de-obra e informações que possam ser úteis do desempenho destas atividades. Somado a este conhecimento, a evolução computacional, informacional e intelectual permitiu o surgimento de um grande volume de informações espaciais que podem ser usadas para melhorar a tomada de decisão. O estudo do espaço geográfico é observado em várias situações: planejamento urbano, territorial, agricultura, indústria, gerenciamento de recursos etc.

Portanto, a atividade espacial pode ser tratada como um problema de modelagem, buscando a representação da realidade, antes da implementação de uma solução. Assim, a ênfase do presente estudo se volta para a atuação de modelos espaciais para o problema de segurança pública. Por ser algo de interesse social e possuir um impacto econômico na vivência em sociedade.

Considerando a visão macro, a pesquisa espacial resulta na comunicação de dados e uso do instrumento de visualização científica. Portanto, essa comunicação é um processo que considera três elementos: o desenvolvedor, o canal de transmissão e o usuário (de ANDRADE & CARNEIRO, 2009). Deve-se também frisar, que estas tecnologias permitem a atuação direta do usuário na construção de mapas (KINGSTON *et al.* 2000; MEKONNEN & GORSEVSKI 2015).

Segundo Goodchild & Janelle (2004) a importância da análise espacial se refere à localização de objetos, e como a posição geográfica de objetos interfere no resultado. Para Konecny (2003) o aspecto espacial é multidisciplinar, envolvendo pesquisas geodésicas, levantamento topográfico, fotogrametria, cartografia, sensoriamento remoto, aquisição de dados e manipulação de dados geográficos. Para Heywood, Cornelius & Carver (2006), as informações espaciais além de possuírem vasta aplicabilidade, podem ser associadas a processos decisórios em diferentes contextos.

Na literatura, o assunto engloba discussões sobre o uso correto do solo (ALTAFF, MERAJ & ROMSHOO, 2014), infraestrutura urbana (KINGSTON *et al.* 2000), (SEMANJSKI *et al.* 2017; YAO *et al.* 2017) e gerenciamento de recursos naturais (HÖFER *et al.* 2016; SÁNCHEZ-LOZANO, GARCÍA-CASCALES & LAMATA, 2016a). Entretanto, a

versatilidade do tema se torna exaustiva, por isso, a delimitação sobre o uso de dados espaciais é necessária e primordial para a construção desta pesquisa.

Neste sentido, a contribuição da presente tese seguirá a associação que existe entre as informações espaciais e uma classe particular de processos decisórios e difundida na literatura como Apoio Multicritério à Decisão (AMD) (MALCZEWSKI & RINNER, 2015; EHRGOTT, FIGUEIRA & GRECO, 2010). Os conceitos de espaços geográficos e informações geográficas também são extensos e variados na literatura. Portanto, restringe-se ao uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

De forma intuitiva, os problemas AMD envolvem a resolução do conflito que surge entre um conjunto de alternativas que são confrontadas com mais de um critério/objetivo associado à consequências de escolhas (HAMADOUCHE *et al.* 2014). O SIG conduz este tipo de problema segundo a vertente espacial. Em muitos casos, são problemas de decisão espacial que envolvem relações como distância e proximidade (GOODCHILD & JANELLE, 2004; GOODCHILD, 1992).

Portanto, o que conduz a realização deste estudo são as contribuições que podem ser empregadas no processo decisório espacial. Entende-se que a natureza diversificada deve ser explorada para obter novos conhecimentos compreensíveis e úteis a sociedade. Então, esta junção SIG-AMD possui a intenção de empreender o tema, trazendo novos conhecimentos ainda não observados em sociedade.

Então, a pesquisa cultiva a relação entre SIG e AMD. Argumenta-se que o assunto ainda carece de novos fatos que demonstrem a importância do estudo, não apenas pelo aspecto prático, que pode ser observado na literatura, mas, no que tange a contribuição teórica, demonstrando as utilidades em um momento em que as informações se fazem cada vez mais presentes na sociedade.

1.1 Contribuição da pesquisa

Este estudo é motivado pela exploração de novas informações provenientes sobre SIG-AMD. Embora o tema seja datado com publicações desde a década de 1990 (CARVER, 1991), se espera avanços consideráveis que podem surgir sobre o assunto. Também é preciso compor como novos campos de pesquisa que podem emergir em função do tema SIG-AMD, havendo a necessidade de explorar profundamente o assunto. Portanto, a pesquisa constrói novos ensejos sobre processos decisórios no âmbito espacial, e que ainda carecem de impacto tanto acadêmico como social.

Para dos Santos, de Farias & Carneiro (2013) o uso da geoinformação e dados espaciais ainda são caros, exigindo mão-de-obra qualificada e adequada, obstruindo o uso participativo. Portanto, fica limitado ao setor empresarial e acadêmico. Neste sentido, compreender a importância deste tema irá servir para contribuições futuras acerca da relação existente entre eixo, sociedade, academia e empresarial. Somado a isto, novas oportunidades serão apresentadas ao longo desta pesquisa.

O outro desafio que motiva este estudo é o que se refere sobre a escassez de contribuições científicas sobre SIG-AMD no Brasil. Embora o tema AMD tenha relevância no país, com as contribuições de pesquisadores nacionais, o conjunto SIG-AMD ainda é pouco explorado no âmbito nacional, havendo contribuições recentes (FIGUEIREDO & MOTA, 2016; FIGUEIREDO, PEREIRA & MOTA, 2017; AZEVÊDO, CANDEIAS & TIBA, 2017). Além disso, isso dificulta o reconhecimento e disseminação em meios como o empresarial e acadêmico. Portanto um dos objetivos da pesquisa é destacar os avanços alcançados até o presente momento, por meio da revisão sistêmica e quantificada sobre SIG-AMD. Em seguida discutir quais as relevâncias que podem ser debatidas pelo referido no tema no que tange a pesquisa brasileira.

O uso de dados espaciais possibilita tratamento visual (KONECNY, 2003) e permite o uso em diversos segmentos, como destacado em Heywood, Cornelius & Carver (2006) através das atividades: socioeconômica de governo, agências de segurança nacional, comércio, negócios e gestão ambiental. Então, a pesquisa contribui com duas atividades conjuntas. O detalhamento sobre o tema SIG-AMD usando uma sistematização dos trabalhos publicados, como mencionado e exploração do setor de segurança pública que carece de novas metodologias estruturadas, em virtude da relevância prática e teórica.

1.2 Objetivo da pesquisa

O objetivo desta tese é propor um modelo de apoio à decisão multicritério integrado a sistemas de informação geográficos para avaliação de áreas de vulnerabilidade, em segurança pública.

1.2.1 Objetivo específico

- Explorar o estado da arte sobre SIG-AMD para um intervalo de publicações em periódicos de relevância científica;

- Motivar as contribuições futuras dos modelos de decisão em ciências geográficas;
- Levantar os principais fatores que impactam a criminalidade no âmbito da segurança pública, com ênfase em Crimes Violento Letais Intencionais;
- Construir um modelo de decisão SIG-AMD para classificar áreas vulneráveis considerando os fatores erguidos;
- Construir uma variante do modelo anterior com aspecto interativo, para melhorar o processo de aprendizagem de preferências no modelo de decisão SIG-AMD.

1.3 Metodologia

De acordo com Marconi & Lakatos (2003) os procedimentos usados em uma pesquisa seguem duas características: descritiva e/ou exploratória. No caso deste estudo, ambas características são adotadas. O procedimento descritivo se deve ao tratamento sobre a sistematização do tema SIG-AMD e apresentação dos modelos de decisão para um caso de segurança pública. Na segunda fase é feita a exploração dos modelos de decisão em segurança pública. A pesquisa também é caracterizada como qualitativa e quantitativa, pois os resultados apresentados são expostos perante estes dois aspectos.

A construção da tese é composta de três atividades em sinergia. Por ordem sequencial, uma revisão na literatura sobre SIG e AMD foi realizada para explanação dos conceitos, a revisão bibliométrica e sistemática sobre SIG-AMD e o desenvolvimento de um modelo com variante, de decisão para o caso de segurança pública.

A revisão bibliométrica e sistemática da literatura sobre SIG-AMD foi dividida em duas etapas. A primeira etapa foi a extração dos arquivos fontes sobre o tema, através da base de dados. Em seguida, foram retirados todos os dados necessários para composição do estudo. Esses dados passaram por tratamento, que incluiu a eliminação de informações em duplicata e eliminação de dados que não seriam tratados. A segunda etapa foi à quantificação de informações, como número de publicações, autores e periódicos onde ocorreram as publicações. A partir destas informações foram construídas redes de relacionamento e definição das áreas de atuação sobre o tema. Ao final, foram discutidos os resultados sobre o futuro do tema.

Em relação a construção do modelo de decisão SIG-AMD e sua variante, foi tomado como o desenvolvimento o campo de segurança pública. A escolha deste tema, em particular,

se deve ao impacto social, prático e teórico em mundo que convive com a violência urbana cada vez mais generalizada. Então, foi definido um modelo de decisão baseado na metodologia *Dominance-based Rough Set (DRSA)*, e uma extensão desse modelo adaptado para um processo interativo de aprendizagem de preferências individuais.

O primeiro modelo proposto consiste na escolha do método multicritério e integração com o ambiente SIG, seguindo a proposta *loose-coupling*. Dados reais foram coletados relativos às variáveis socioeconômicas para serem usados no modelo. Ao final, os resultados foram comparados com as informações sociais do lugar, permitindo obter resultados consistentes com a realidade da situação.

No segundo modelo, que foi uma variante do anterior, com aspecto de interações entre as informações usadas na agregação. Esse modelo é útil para o caso em que as preferências são originadas de várias decisores que detém o conhecimento do mesmo problema, e busca o objetivo em comum, no caso a manutenção da segurança pública. Nesta construção, foram considerados os aspectos cognitivos que podem ser tratados na construção do problema. Então, foi definida a interação baseada em escolhas holísticas para o tema empregado. Ao final, as interações se mostraram eficientes acerca dos resultados provando serem viáveis para o uso real do problema de segurança pública.

1.4 Estrutura da Tese

O restante desta tese segue composto por mais cinco capítulos. No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico que serve de embasamento para o tema abordado. No capítulo 3 a revisão bibliométrica sobre SIG-AMD é realizada, apresentando os resultados alcançados e a relevância do tema. No capítulo 4, o modelo de avaliação de vulnerabilidade para segurança pública é discutido. No capítulo 5 uma extensão da classificação da vulnerabilidade quanto à segurança pública, considerando a aprendizagem de preferências é proposto. Finalmente, no capítulo 6 estão expostas às considerações finais, as contribuições do estudo, limitações e propostas futuras.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD)

O processo de tomar decisões é algo rotineiro e presente em diferentes situações. O ato envolvendo a escolha de uma alternativa em detrimento de outras opções pode acontecer em situações cotidianas ou em situações complexas. Um dos problemas que envolvem essa escolha de alternativas é a ausência clara de informações que norteiam o processo. Somado a isto, o processo de escolha dificilmente ficará restrito a um único critério, como custo ou lucro. Claramente, este cenário pode ser definido como a necessidade de um decisor ter que escolher pelo menos uma alternativa, quando há pelo menos duas opções. Também existe um confronto de objetivos, representado por critérios. Situações como estas podem ser caracterizadas como problemas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD).

Atualmente, a subárea de métodos multicritério está inserida na área de Pesquisa Operacional (BRAGGE *et al.* 2012). Entretanto, este é um tema que se associa com outros campos de pesquisa, como negociação e escolhas sociais (FIGUEIRA, GRECO & EHRGOTT, 2016). A explanação desta abordagem é extensa e exaustiva. Portanto, como forma de contribuir com a investigação neste estudo, será usada a delimitação dos conceitos bases a respeito do assunto.

Segundo Ehr Gott, Figueira & Greco (2010) o processo decisório consiste em um conjunto de atividades cognitivas que surgem com um problema (estado percebido como insatisfatório) e que convergem para uma solução (estado percebido como satisfatório). Belton & Stewart (2002) afirmam neste contexto que três fases são necessárias. A identificação e estruturação do problema, construção e uso do modelo e desenvolvimento dos planos de ação resultantes. Nesta fase também é preciso delimitar o problema. Ou seja, nem sempre a opção é escolher uma única alternativa Belton & Stewart (2002). Neste sentido, Roy (1996), De Almeida (2011) identificam quatro diferentes tipos de problemáticas, permitindo limitar as fronteiras dos problemas em multicritério.

- **Problemática de escolha:** simples escolhas são feitas a partir de um conjunto de alternativas;
- **Problemática de classificação ordinal:** as alternativas são classificadas em categorias ordenadas;

- **Problemática de ordenação:** as alternativas são alocadas em ordens de preferência, não sendo necessariamente completa;
- **Problemática de descrição:** descreve as alternativas e suas consequências de maneira sistemática e formalizada;
- **Problemática de portfólio:** permite a comparação de diferentes portfólios de projetos, para escolher de um subconjunto.

Partindo desta identificação, adentra-se no conjunto de métodos multicritério. A literatura apresenta diferentes tipos de abordagem. Neste texto será considerada a divisão proposta em Greco, Ehrgott & Figueira (2016). Então, os métodos multicritério podem ser agrupados em Critérios Únicos de síntese; Abordagens *Outranking*; Abordagens não clássicas e Otimização multiobjetivo.

Os métodos que se enquadram como Critério Único de Síntese, também chamados de compensatório, devido a sua natureza de agregação em um único valor e representando todos os critérios. O mais conhecido são as funções aditivas, em que o decisor expressa às informações como constantes de escala e pesos para mensurar a importância/contribuição de cada critério. Destaca-se: Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT – *Multi-attribute Utility Theory*), os métodos SMARTS (*Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings*) e SMARTER (*Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks*), VIP analysis (*Variable Interdependent Parameters*) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (DIAS & CLÍMACO, 2000; EDWARDS & BARRON, 1994; KEENEY & RAIFFA, 1993; GRECO, EHRGOTT & FIGUEIRA 2016).

A segunda categoria, chamada de *Outranking*, podendo ser traduzida para Sobreclassificação (de ALMEIDA, 2011), tem como características a modelagem dos problemas com diferentes tipos de escala, heterogeneidade entre os critérios e o emprego de comparações entre os pares de alternativas (GRECO, EHRGOTT & FIGUEIRA, 2016). Os métodos que mais se destacam são os da família ELECTRE (MACARY *et al.* 2014; GOVINDAN & JEPSEN, 2016) e PROMETHEE (BEHZADIAN *et al.* 2010; ESMAELIAN *et al.* 2015).

As abordagens não clássicas são bem diversificadas. Mas aqui se destacam as abordagens que usam regras de decisão (GRECO, MATARAZZO & SLOWINSKI, 2002; GRECO, SLOWINSKI & DEMBCZYN, 2009), incerteza e lógicas *fuzzy* (GORSEVSKI *et al.* 2006; SAFARI *et al.* 2012) e abordagens verbais (GRECO, EHRGOTT & FIGUEIRA, 2016).

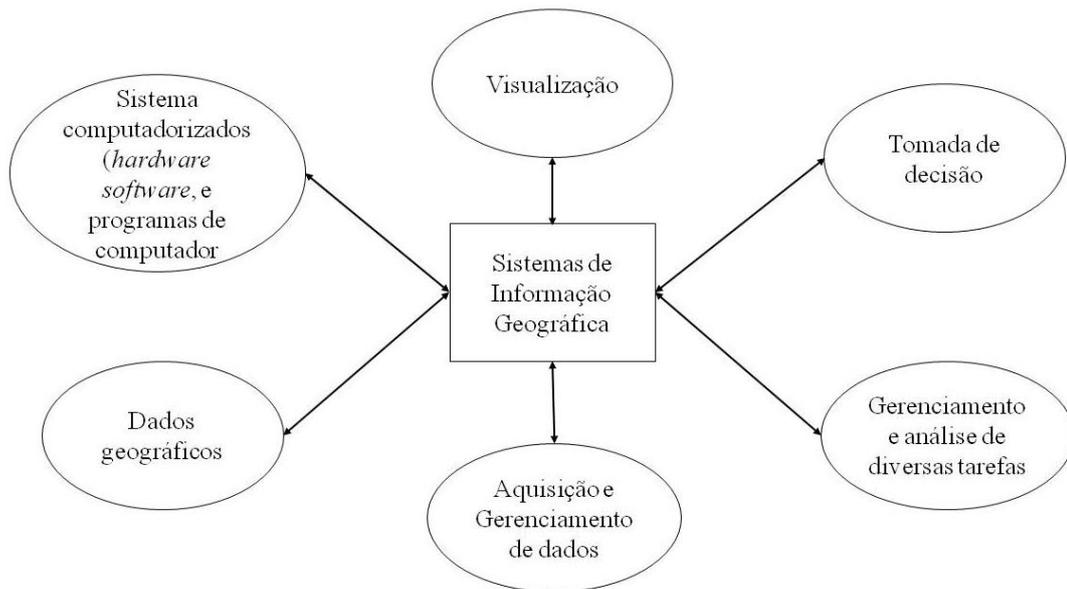
Evidente que a exploração detalhada de cada uma seria exaustiva e sairia do tema deste trabalho, portanto, detalhes mais aprofundados podem ser verificados na literatura.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão inseridos na área das Ciências das Informações Geográficas – *Geographic Information Sciences (GIScience)*, sendo o *GIScience* responsável em fornecer as bases conceituais relacionadas aos fenômenos geográficos e as relações espaciais para o SIG (GOODCHILD, 2004). Por outro lado, Heywood, Cornelius & Carver (2006) fornecem diferentes conceituações provindas de vários autores na literatura, portanto sendo incorreto haver uma definição universal. Entretanto, os autores são categóricos ao afirmar que as definições de SIG cobrem três elementos importantes. O SIG é um *sistema computadorizado* (requisitando de vários componentes como, *hardware* e *software*). Todo SIG faz uso de dados com *referências espaciais* ou *dados geográficos* e por fim realiza *tarefas de gerenciamento e análise* destes dados.

Malczewski & Rinner (2015) acrescentam duas outras definições importantes nos conceitos sobre SIG. Primeiro, é um banco de dados com uma proposta especial cujo um sistema de coordenadas geográficas em comum permite armazenar e analisar as informações para tomada de decisão. O SIG, também tem sido fortemente usado para apoiar processos decisórios. Também pode ser considerado em linhas gerais como forma de aquisição, gerenciamento, análise e visualização de dados espaciais para proposta de planejamento, administração e monitoramento do ambiente natural e socioeconômico (KONECNY, 2003). Portanto, o SIG apoia decisões em diversos segmentos, com intuito de auxiliar na tomada de decisão considerando o contexto espacial. A Figura 1 ilustra o resumo das características do SIG.

Figura 1-Relação entre SIG e seus componentes



Fonte: Heywood, Cornelius, & Carver (2006); Malczewski & Rinner (2015).

O SIG permite adicionar valor aos dados espaciais, através da organização, visualização eficiente e integração com outros dados, permitindo criar novos dados úteis dentro do SIG e ajudando na tomada de decisão (HEYWOOD, CORNELIUS & CARVER, 2006). Neste sentido, pessoas e organizações usam estas informações para escolher qual local ir, escolher sobre a alocação de recursos, quais rotas de deslocamento escolher, etc. (ELDRANDALY & ABDELAZIZ, 2012). Evidente que quanto mais informações espaciais são inseridas, mais complexa se torna a tarefa de tomar decisões (JELOKHANI-NIARAKI & MALCZEWSKI, 2014).

Goodchild (1997) cita um resumo com os conceitos essenciais que auxiliam na definição de SIG:

- A informação geográfica é a informação sobre o lugar na superfície terrestre;
- As tecnologias de informações geográficas incluem Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning Systems*), sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas;
- O SIG é composto pelo sistema informatizado e *software*;
- SIG possui várias aplicações;
- As Ciências da Informação Geográfica é a ciência por de trás da tecnologia SIG.

Destaca-se que desde o advento computacional e a evolução das tecnologias informatizadas, o SIG deteve grande avanço em várias áreas do conhecimento

(MALCZEWSKI, 2006b), sendo cada dia mais expansível. Outro ponto relevante é a diversidade de pacotes computacionais (comercializável ou *open source*), dispositivos eletrônicos (aparelhos de coordenadas geográficas) e estações de SIG com tecnologia de última geração (HEYWOOD, CORNELIUS & CARVER, 2006).

Por outro lado, Konecny (2003) detalha os desafios que são encontrados quanto ao uso dos pacotes computacionais, visto a grande importância deles para o funcionamento de um SIG. Além disso, o autor ressalta as ferramentas *on-lines* que se encontram disponíveis. Evidente, que com o passar dos anos, houve a evolução do advento computacional e novas perspectivas estão sendo inseridas nos conceitos que tangem as ciências geográficas.

Nas seções subsequentes serão explanados conceitos básicos e que servem de fundamento e suporte metodológico deste estudo. Evidente, que se torna inviável abordar todos os assuntos que englobam a área de SIG, devido a sua vasta composição de subáreas do conhecimento.

2.2.1 Composição das ciências espaciais

Todo *software* SIG é desenvolvido para lidar com dados espaciais. Os dados espaciais são caracterizados por informações sobre o posicionamento da superfície terrestre, conexões com outras características espaciais e detalhes sobre atributos que não são espaciais (KONECNY, 2003). O tratamento destes dados resulta na análise espacial. O que permite caracterizar a análise espacial é que o resultado depende diretamente do local onde se encontram determinados objetos e seus atributos (MALCZEWSKI & RINNER, 2015). Uma vez que todo objeto pode ser entendido, como por exemplo, um corpo de água, uma estrada, a posição de uma torre eólica, a delimitação de uma cidade ou bairro inserido em uma cidade, pode-se avançar nos conceitos usados para compreender a representação espacial.

O sistema de vetores é uma das formas de representar um objeto espacial e sua modelagem depende da geometria do local ou do sistema de coordenadas georreferenciadas (KONECNY, 2003). Ainda segundo o autor, a representação vetorial contém uma quantidade inferior de volume de dados quando comparado com o formato *raster* e permite armazenar diversos atributos para os elementos contidos no sistema vetorial. Malczewski & Rinner (2015) citam que os vetores podem ser entendidos como um ponto representando uma torre de energia, linhas que representam estradas e uma área representando um bairro. Portanto, três são os elementos que compõem o sistema de vetores:

- Pontos;
- Linhas;
- Áreas.

Dados no formato *raster* consistem em um conjunto de grades (*grid*) de quadrado de células (bidimensional). Cada grade possui uma origem geocodificada e o tamanho de célula do *raster*, que para a imagem corresponde a um tamanho de pixel (elemento da imagem) (KONECNY, 2003). O formato *raster* é uma representação natural de imagens que são gerados através de diversos dispositivos, tais como: câmeras, satélites e *scanner* de imagens impressas (RICHARDS & JIA, 2006). São mais viáveis para o processamento e estabelecimento de relações de proximidades para uma dada superfície (RICHARDS & JIA, 2006).

Formalmente, um *raster* é definido em células distribuídas em colunas e linhas, comprimido em uma única matriz ou composto de mais de uma matriz do mesmo tamanho (*band*) (SHEKAR & XIONG, 2017). Quando grupos de células compartilham o mesmo valor apresentam a mesma característica geográfica. São úteis em representações contínuas de fenômenos geográficos tais como elevação do terreno (HEYWOOD, CORNELIUS & CARVER, 2006). O dado espacial do tipo *raster* não é contínuo, mas dividido dentro das unidades discretas (*pixel*) (SHEKAR & XIONG, 2017).

Finalmente, o uso de dados *raster* possibilitam operações que transformam a informação espacial, sendo úteis no processo de tomada de decisão. Estas decisões podem ser relacionadas em transformações geométricas, transformações radiométricas, algébricas e macro-operações (KONECNY, 2003). No estudo presente, vale ressaltar que as transformações algébricas, nas quais permitem combinar diferentes camadas (*layers*) usando os operadores Booleanos. Estes operadores são: AND, OR, XOR e NOT. “AND” significa que quando ambas as camadas possuem valores iguais. “OR” significa que uma das camadas tem um determinado valor. “XOR” é exclusão de “OR”, ambos não têm um determinado valor. “NOT” que as camadas não têm um valor particular (HEYWOOD, CORNELIUS & CARVER, 2006).

2.3 Sistemas de Informação Geográfica e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão

2.3.1 Histórico SIG-AMD

O surgimento dos modelos e métodos SIG-AMD foi influenciado por duas grandes áreas de pesquisas tradicionais: A Pesquisa Operacional e o Planejamento de Paisagens (MALCZEWSKI & RINNER, 2015). O AMD está ligado diretamente a Pesquisa Operacional, tendo surgido há mais de meio século, com suas raízes ligadas a programação matemática e análise de decisão/teoria da utilidade (BRAGGE *et al.* 2012). O objetivo do Planejamento de Paisagens é aplicar os princípios científicos para planejar, desenhar e gerenciar o ambiente natural e artificial (MALCZEWSKI & RINNER, 2015). O grande desafio desta integração é permitir decisões que são feitas em multicritério e apoiadas pela busca para alocação de recursos (JANKOWSKI, 1995).

O desenvolvimento do SIG-AMD pode ser dividido em três estágios: (i) estágio de inovação (avanços em SIG e em Pesquisa Operacional), (ii) estágio de integração (integração da modelagem cartográfica e AMD juntas), e (iii) estágio de proliferação (a interface direta com o usuário em SIG-AMD) (MALCZEWSKI & RINNER, 2015). Evidente, que esta evolução acompanhou o desenvolvimento computacional observado nos últimos 50 anos, sendo mais impactante quando ocorreu a vasta disponibilização da *Word Wide Web* (WWW).

Salienta-se que havia a premissa de que somente a capacidade do SIG não poderia auxiliar na tomada de decisão, permitindo assim, a integração entre o AMD e SIG (JANKOWSKI, 1995). Por outro lado, a tomada de decisão espacial se tornou mais efetiva quando a resolução de problemas, usando apenas métodos e modelos multicritério, não poderia lidar com o aspecto espacial, sendo necessária essa integração (JUN, 2000). Carver (1991) apresentou um dos primeiros trabalhos sobre a integração entre SIG e AMD, em um período que a disponibilidade computacional ainda limitava a exploração sobre o assunto em relação aos dias atuais, sendo um dos trabalhos reconhecidos após a publicação neste campo do conhecimento (FISHER, 2001).

Os métodos multicritério que foram integrados com o SIG possuem semelhanças em relação aos tipos de métodos apresentados na seção sobre multicritério. Surgiram estudos SIG-AMD associados com as funções aditivas como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Weight Linear Combination* (WLC), métodos de Sobreclassificação e Lógica *Fuzzy* (MALCZEWSKI, 2006a). Além de abordagens multiobjetivo e heurísticas de busca (BEHESHTIFAR & ALIMOHAMMADI, 2015). Também, o número de trabalhos publicados

em periódicos passou a ter expressivos números apenas a partir da década de 2000 (MALCZEWSKI, 2006a).

Neste contexto histórico, é observado o impacto dos trabalhos considerando os modelos Critério Único de Síntese, devido ao maior número de contribuições (MALCZEWSKI, 2006a). Nota-se que ocorreram críticas, para as funções aditivas ponderadas, pois não consideravam o quesito da espacialidade das informações com relação aos critérios e alternativas (HOBBS, 1980; LAI & HOPKINS, 1989; MALCZEWSKI, 2000). Então, novos estudos introduziram o conceito da espacialidade como observado em Malczewski (2000); Carter & Rinner (2014).

Notório também no que diz respeito aos métodos não-compensatórios, havendo maior frequência para as abordagens ELECTRE (MACARY, *et al.* 2014; SILVA, ALÇADA-ALMEIDA & DIAS, 2014a; STECCHI *et al.* 2012) e PROMETHEE (LOUVART, MEYER & OLTEANU, 2015; HAMZEH, ALI ABBASPOUR & DAVALOU, 2015; ESMAELIAN *et al.* 2015). Entretanto, existe a limitação computacional para dados *raster* quando empregam métodos não-compensatórios, prolongando o tempo de análise. Em função das comparações pareadas, dado um problema de avaliação com m alternativas de decisão e n critérios, o número total de elementos de *input* é igual a $(n + 1) \times (m + m^2)$ (MARINONI, 2006).

No que tange o emprego de outras abordagens de apoio multicritério à decisão, são destacados modelos envolvendo Métodos de Pontos Ideais (ELAALEM, COMBER & FISHER 2011; YAL & AKGÜN, 2014), heurísticas de busca (DAI & RATICK 2014; DELAVAR, MORADI & MOSHIRI 2015; NOURQOLIPOUR *et al.* 2015), Lógica *Fuzzy* (AYDI *et al.* 2016; LIU *et al.* 2016; ELMAHDY & MOHAMED, 2016), distribuições probabilísticas (FEIZIZADEH & BLASCHKE, 2014; XU & ZHANG, 2013; CHEN, *et al.* 2011) e decisão em grupo (LIU *et al.* 2016; van NIEKERK *et al.* 2016; ÖZCEYLAN *et al.* 2016; ELDEMIR & ONDEN, 2016).

Sem esgotar o conteúdo acerca do contexto histórico, Malczewski & Rinner (2015) ressaltam que existe um grande potencial de crescimento entre SIG-AMD para ser explorado. Porém é recomendada atenção a determinadas características relacionadas às pesquisas entre ambas as abordagens: necessidade de validações práticas baseadas em fundamentos teóricos, atenção aos fundamentos que englobam etapas importantes dentro do AMD, sendo difícil a validação em problemas reais, e inclusão das etapas de absorção das preferências dos decisores. Estes mesmos autores, ressaltam que o grande diferencial é a introdução cada vez

mais ampla das tecnologias computacionais, permitindo abranger uma quantidade maior de usuários.

2.3.2 Integração SIG-AMD

A discussão desta subseção é apresentar como ocorre a integração entre os elementos do SIG e do AMD. As divisões podem ocorrer segundo o nível de extensão e a direção de integração entre SIG e AMD. Com relação ao nível de extensão, existem três classificações: (i) *loose-coupling*, (ii) *tight-coupling*, e (iii) *full integration* (JUN, 2000; JANKOWISKI, 1995; GOODCHILD, 1992). Na primeira abordagem, dois sistemas interagem através da troca de arquivo, sendo que um serve de *input* para o outro. A segunda estratégia é baseada no compartilhamento de um único do conjunto de dados e apenas uma interface que se relaciona com o usuário. A terceira estratégia é a mais completa, pois permite criar rotinas exclusivas para os usuários através de linguagem de programação (EASTMAN *et al.* 1995; YATSALO *et al.* 2010).

A segunda divisão compreende outras quatro categorias: (i) integração unidirecional com SIG como *software* principal, (ii) integração unidirecional com *software* AMD como principal, (iii) integração bidirecional, e (iv) integração dinâmica. Na integração unidirecional segue um fluxo de única via para levar os dados para *software* SIG ou AMD e que foi originado de uma AMD ou SIG. Na integração bidirecional os dados podem ser originados e terminados em um *software* SIG ou AMD. A quarta permite o movimento flexível do conjunto de dados entre os *softwares* SIG e AMD. Para mais detalhes ver consultar: Jun (2000); Malczewski & Rinner (2015).

Mais recentemente, um novo conceito vindo de SIG vem sendo implementado na conjuntura SIG-AMD. Trata-se do *Participatory process*, que permite implantar sistemas sofisticados e *online* para tomada de decisão em planejamentos de longo prazo e com grande impacto em uma região (KINGSTON *et al.* 2000; ZHANG *et al.* 2013; LABIOSA *et al.* 2013). Envolve os conceitos de decisão em grupo, mas tendo surgido dentro do contexto de SIG.

2.3.3 Espacialmente Explícito e Implícito

Esta subseção trata da taxonomia relativa às características tanto dos conceitos sobre SIG, como AMD. Primeiramente é preciso estabelecer a diferença entre dados espaciais e não

espaciais. Os métodos convencionais AMD amplamente não tomam em consideração a espacialidade da informação (heterogeneidade espacial e dependência espacial) (MALCZEWSKI & RINNER 2015). Em outros casos, alguns aspectos podem ser levados em conta, tais como: distância, proximidade e adjacência, porém de maneira implícita (LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWSKI 2008; VAN HERWIJNEN & RIETVELD, 1999). Na prática, isso significa dizer que as alternativas não irão sofrer mudanças em seus desempenhos finais, caso haja uma mudança de posicionamento geográfico.

Por outro lado, os aspectos SIG-AMD apresentam sinergia quando o modelo possui mudanças no comportamento e previsão dos resultados de acordo com a localização espacial, chamado assim de modelo espacial (GOODCHILD & JANELLE, 2004). Em Goodchild (2001) são sugeridos quatro testes para determinar a espacialidade do modelo. A partir destas considerações e as divisões que existem no contexto AMD, uma taxonomia pode ser criada no sentido de melhor definir a interação entre os componentes SIG e AMD.

A primeira categorização diz respeito ao uso de dados e as informações contidas nas alternativas e critérios. Os dados de entrada podem ser do tipo *raster* ou vetor (polígono, ponto ou linha). Ambos podem ser combinados simultaneamente, porém o que delimita é o momento da combinação das informações. Em algum momento, os dados devem pertencer à mesma categoria, portanto um polígono deve ser transformado em *raster* para ser combinado com os demais dados no formato *raster*.

A partir desta diferença, os dados *raster* e/ou polígono se decompõe em critérios espacialmente explícitos e espacialmente implícitos e alternativas espacialmente explícitas e espacialmente implícitas. Nota-se que estas duas categorias, explícitas e implícitas não são mutuamente exclusivas (MALCZEWSKI & RINNER, 2015). As informações implícitas não levam em consideração diretamente as informações do âmbito espacial, avaliando os critérios e alternativas por questões relacionadas à proximidade e distância, por exemplo (LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWSKI 2008; Van HERWIJNEN & RIETVELD, 1999). Quando assume a espacialidade, tanto critério como alternativas se tornam sensíveis às mudanças no espaço, alterando seus desempenhos e sendo inseridos na construção do modelo de preferências.

A partir destes conceitos, o conjunto SIG-AMD pode ser definido, conforme os componentes que compõe apenas o AMD. Em problemas multicritério, vários elementos constituem e servem de base na construção das preferências em um modelo de decisão. Neste

sentido, esta visão será adotada neste estudo, servindo de suporte para a construção dos capítulos seguintes.

2.4 Considerações do capítulo

Este capítulo sintetizou as bases conceituais sobre Sistemas de Informação Geográfica e Apoio Multicritério a Decisão. Ao final, as bases serviram para mostrar a relação existente entre ambos os temas. Além disso, as temáticas servem de embasamento para compreensão dos capítulos seguintes.

3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA: SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Este Capítulo irá apresentar a combinação da revisão sistemática da literatura e da análise bibliométrica sobre o tema SIG-AMD, mostrando as contribuições no período de 2006 até 2016. As seções seguem divididas, conforme: apresentação do tema, metodologia usada, levantamento dos achados, discussão dos resultados e considerações finais.

3.1 Importância do estudo bibliométrico

A análise bibliométrica e o estudo de citações tem se tornado um conjunto de métodos importantes no que compõe as ciências das informações, nas últimas quatro décadas (GOMEZ-JAUREGUI *et al.* 2014a). A vantagem deste tipo de pesquisa é quantificar a análise científica sobre determinado assunto, a influência para um determinado assunto e o impacto dos grupos de pesquisa (GOMEZ-JAUREGUI *et al.* 2014). A bibliometria delimita as fronteiras e segmenta os subcampos acadêmicos (VOGEL, 2014), possibilitando entender a subdivisão destes subcampos.

Em anos mais recentes estudos têm sido desenvolvidos na área de AMD, avaliando e discutindo os resultados de revisões da literatura. Bragge *et al.* (2012) desenvolveram um estudo do perfil bibliométrico sobre o desenvolvimento do AMD de 1970 até 2007, Behzadian *et al.* (2010) fizeram uma revisão da literatura para o PROMETHEE, Govindan & Jepsen (2016) revisaram o ELECTRE, Zopounidis *et al.* (2015) fizeram um estudo bibliométrico para a área de finanças usando o AMD, e de Almeida, Ferreira & Cavalcante (2015) revisaram os modelos multicritério para a área de manutenção. Portanto, é enxergado como necessidade a análise quantificada dos dados sobre as publicações em SIG-AMD, no sentido de contribuir com novas ambições que surgirão em torno do assunto. Como resultados, foram encontrados novos temas de pesquisas e impactos para estudos futuros.

Finalmente, este capítulo auxilia na justificativa da escolha do tema desta tese. O intervalo escolhido permitiu identificar as ausências de modelos SIG-AMD em segurança pública e como isso pode ser de interesse no ramo acadêmico e prático.

3.2 Metodologia utilizada

O primeiro passo desta pesquisa foi coletar os artigos para análise. Para esta tarefa, foi realizada uma busca sistemática na base de dados da coleção *Web of Science's do Institute for*

Scientific Information (ISI). ISI é uma base multidisciplinar que congrega os periódicos de impacto e em vários campos de pesquisa. Além disso, possui alto impacto na comunidade científica, cobrindo periódicos de grande relevância. A plataforma ISI possibilita buscar artigos através de palavras-chave e disponibiliza informações como citações recebidas, referências usadas, índices bibliométricos e números de autocitação.

A investigação na base ISI foi feita com a combinação de palavras-chave usando o operador booleano “AND”. As seguintes combinações foram usadas: GIS (ou *Spatial Decision Support Systems*) e *Multicriteria* (ou *Multiple Criteria Decision Making* ou *Multicriteria Decision Aid* ou *Spatial Multicriteria Evaluation*). Estes termos foram escolhidos através de uma análise *ad hoc* de alguns artigos relevantes na literatura sobre o tema.

Após a obtenção dos artigos na plataforma ISI, importou-se os dados para o *software* BibExcel (PERSSON, DANELL & SCHNEIDER, 2009). O *software* foi usado para extrair as informações dos arquivos fonte, tais como título, ano de publicação, autores e resumo. A busca na base ISI retornou 2046 títulos, referentes a publicações em periódicos, anais de congressos ou capítulos de livros. Realizaram-se dois filtros nesta lista: o primeiro filtro foi a exclusão de todo o conteúdo que não correspondesse a publicações em periódicos. No segundo filtro, leram-se todos os títulos e os resumos para verificar a adequação ao tema SIG-AMD. Por exemplo, alguns trabalhos foram desconsiderados porque, embora mencionassem multicritério em suas palavras-chaves, a abordagem não era utilizada. Finalmente, nossa pesquisa considerou 453 artigos sobre o tema.

Após isso, foram obtidas as métricas bibliométricas, usando as informações fornecidas pela própria base. Desta forma, identificaram-se os autores e artigos mais citados, assim como o índice *h*. Tais dados foram importantes para realizar a parte bibliométrica da pesquisa.

Cada artigo foi explorado perante as informações necessárias para a fase de revisão sistemática. A análise individual permitiu coletar dados referentes informações espaciais usadas, método multicritério, critérios considerados e tipo de decisor. No que se refere ao contexto de organização, cada material foi catalogado com relação ao campo de aplicação, tipo de aplicação e objetivo proposto. Isto permitiu criar sete grandes áreas e categorizar cada trabalho dentro destas áreas. A Tabela 1 mostra as sete áreas consideradas em nossa análise e oferece uma descrição de cada uma.

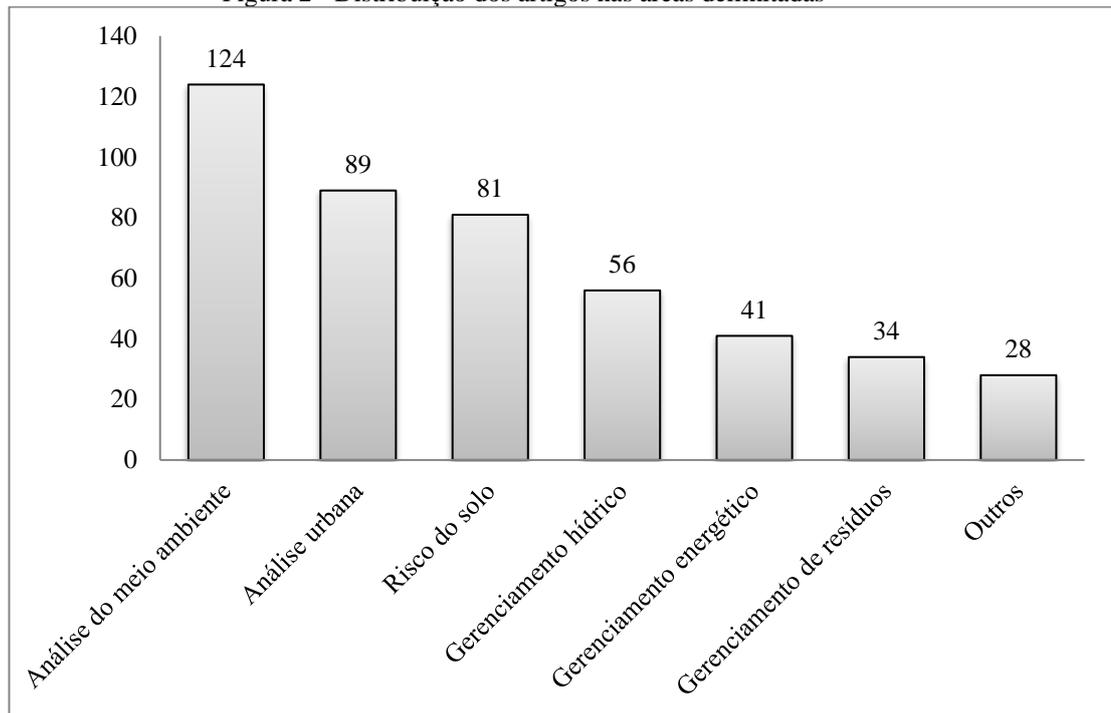
Tabela 1-Áreas do conhecimento encontradas nos artigos SIG-AMD

Área	Subáreas	Descrição
Análise do meio-ambiente	Agricultura Sustentabilidade Aquicultura	Estudos relacionados a adequabilidade do solo para agricultura e aquicultura, avaliação de locais que necessitam de proteção ambiental e avaliação de riscos em ecossistemas.
Análise urbana	Planejamento urbano e regional Alocação de facilidades Mobilidade	Estudos relacionados a organização / planejamento urbano e regional, planejamento de modais (ferroviário e rodoviário), escolha de locais para localização de serviços e manufatura e estudos de mobilidade.
Gerenciamento hídrico	Lençóis freáticos Fornecimento de água Conservação de bacias hídricas Recarga de aquíferos Reuso da água	Estudos relacionados a gestão de recursos hídricos, envolvendo a avaliação de pontos ideais para aproveitamento de lençóis freáticos, corpos de rios e lagos. Uso adequado de tratamento de água e aquíferos, assim como reaproveitamento de água.
Gerenciamento resíduos	de Aterros sanitários Resíduos perigosos	Estudos que tratam sobre a escolha e uso de locais para destino de resíduos, para um melhor gerenciamento dos mesmos.
Gerenciamento energético	Energia solar Energia eólica Biogás Geração hídrica Energia nuclear Roteirização de linhas de transmissão	Estudos relacionados a seleção de locais ideais para a produção de energia e definição de alocação de linhas de transmissão.
Risco de solo	Deslizamento de terra Enchentes Terremotos	Estudos relacionados a assuntos que tratam do risco de desastres naturais.
Outras aplicações	*****	Trabalhos diversos que englobam diferentes assuntos; apresentam aplicações em controle de doenças, setor militar, gerenciamento de segurança pública, entre outros.

Fonte: Autor (2018)

Dentre as sete áreas que foram definidas e os 453 artigos analisados, aquela identificada como Análise do meio-ambiente é a que detém maior número de trabalhos, com 124 publicações. A quantidade de estudos por área pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição dos artigos nas áreas delimitadas



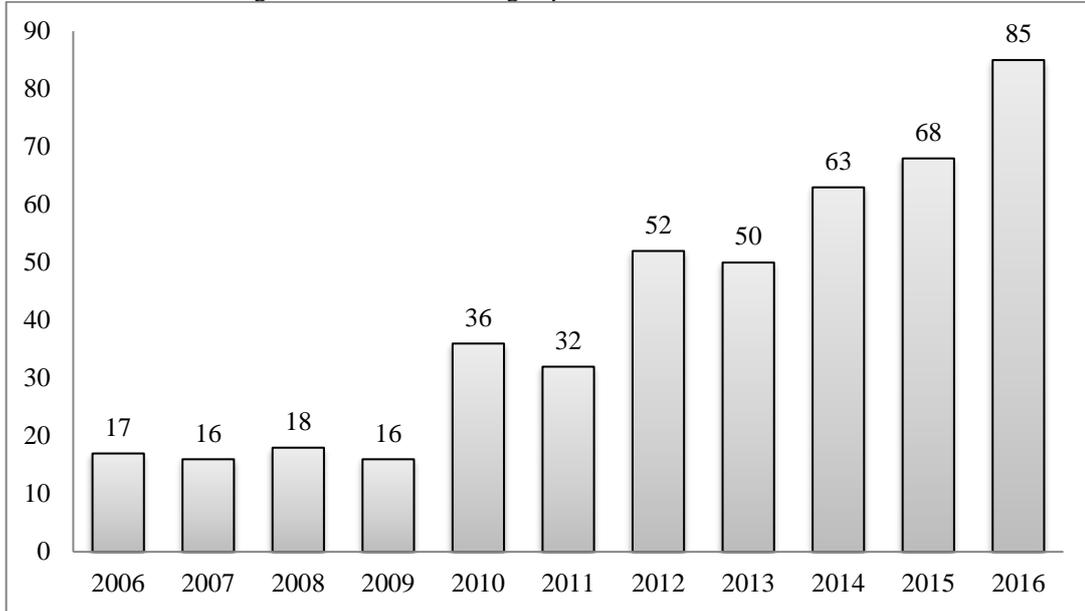
Fonte: Autor (2018)

3.3 Resultados

3.3.1 Levantamento descritivo – visão geral

Conforme já foi mencionado, esta revisão considerou 453 artigos publicados em periódicos. Embora os primeiros artigos na área sejam da década de 1990, foi escolhido o intervalo das publicações de 2006 a 2016. Com isso, podem-se obter novos resultados que levam a novas áreas de interesse e tendências que podem surgir no futuro com respeito ao tema SIG-AMD. A Figura 3 mostra o número de artigos publicados em periódicos na área SIG-AMD da última década.

Figura 3 - Número de artigos publicados entre 2006 e 2016



Fonte: Autor (2018)

De acordo com a Figura 3, pode-se perceber que o tema tem tido crescimento na literatura, portanto é uma área do conhecimento em expansão, já que o número de artigos mais que quadruplicou em dez anos. A tendência de crescimento em SIG-AMD já foi apontada na revisão de Malczewski (2006a): o mesmo gráfico para os anos de 1990 a 2004 também mostra a evolução com os anos.

Com relação aos países das publicações, nós consideramos o *country of author affiliation*, pois esta é a informação contida nos artigos. É importante mencionar que foram considerados os países nos quais as instituições de ensino/pesquisa estão filiadas os autores, havendo, portanto, em algumas situações, mais de um país por trabalho. No total foram identificados 73 países nos 453 artigos analisados por esta pesquisa. O país que mais contribuiu nesta área de pesquisa foi o Irã, responsável por 11.39% das publicações. Outros países com grande destaque são Estados Unidos da América, Itália, Índia e Turquia. A Tabela 2 mostra os principais países, com a contagem de artigos e respectiva porcentagem.

Tabela 2 - Distribuição dos artigos por país

País	Número de publicações	Percentual
Irã	68	11,35
EUA	57	9,52
Itália	34	5,68
Índia	33	5,51
Turquia	30	5,01
Espanha	29	4,84
Canadá	25	4,17
Reino Unido	24	4,01
China	24	4,01
Alemanha	21	3,51
Grécia	20	3,34
França	19	3,17
Portugal	17	2,84
Malásia	16	2,67
Austrália	15	2,50
Brasil	14	2,34
Áustria	11	1,84
Outros	142	23,71

Fonte: Autor (2018)

A Figura 4 mostra a distribuição das publicações no mundo. É notório que a maioria dos artigos é de autores da Ásia, Europa e América do Norte. Porém, todos os continentes têm autores com publicações no tema.

Figura 4 - Distribuição das publicações no mundo



Fonte: Autor (2018)

3.4 Resultados bibliométricos

Nesta fase serão apresentadas as métricas relativas às revistas e os índices de medidas para os trabalhos e autores.

3.4.1 Principais revistas

A Tabela 3 apresenta as revistas com maior citação sobre o tema SIG-AMD. O primeiro lugar coube ao *International Journal of Geographical Information Science*, o periódico que divulga não somente a respeito do tema tratado nesta pesquisa, mas diversos assuntos relacionados às ciências geográficas e cartográficas e assuntos correlatos com a Pesquisa Operacional. De acordo com a Tabela 3, percebe-se que os artigos sobre SIG-AMD estão bem distribuídos em periódicos, provavelmente devido à característica interdisciplinar do tema.

Tabela 3 – Distribuição dos artigos publicados sobre SIG-AMD

Posição	Periódico	Publicações	% Percentual	Fator de Impacto (5 anos)
1	International Journal of Geographical Information Science	20	4,42	2,545
2-4	Environmental Earth Sciences	19	4,19	1,844
2-4	Land Use Policy	19	4,19	3,527
2-4	Environmental Monitoring and Assessment	19	4,19	1,974
5-6	Natural Hazards	14	3,09	2,254
5-6	Water Resources Management	14	3,09	3,214
7	Journal of Environmental Management	11	2,43	4,712
8	Waste Management	10	2,21	4,669
9-11	Applied Geography	9	1,99	3,401
9-11	Computers & Geosciences	9	1,99	2,818
9-11	Computers, Environment and Urban Systems	9	1,99	2,920
12-13	Arabian Journal of Geosciences	8	1,77	1,139
12-13	Environmental Management	8	1,77	2,206
14-17	Environmental Modelling & Software	7	1,55	4,979
14-17	International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives	7	1,55	6,457
14-17	Landscape and Urban Planning	7	1,55	5,023
14-17	Transactions in GIS	7	1,55	2,216
18	Computers and Electronics in Agriculture	6	1,32	2,502
19-24	Environment and Planning A/B-Planning & Design	5	1,10	1,750
19-24	Environmental Geology	5	1,10	1,517
19-24	Geocarto International	5	1,10	1,690
19-24	Renewable & Sustainable Energy Reviews	5	1,10	9,122

19-24	Renewable Energy	5	1,10	4,825
19-24	Sustainability	5	1,10	1,850
****	Outros	220	48,57	*****

Fonte: Autor (2018)

Realizou-se também uma análise sobre as áreas de pesquisa nas quais as revistas são classificadas pela base ISI. A Tabela 4 mostra estas áreas, a quantidade de artigos em cada uma e o percentual. Dar-se ênfase a determinadas revistas que são classificadas em mais de uma área de pesquisa. A área de pesquisa *Environmental Sciences & Ecology* é a que possui maior número publicações de SIG-AMD (23,39%). Esta informação está de acordo com os achados deste artigo, já que 27% dos artigos foram classificados na categoria *Environment analysis*.

Tabela 4 - Principais áreas de pesquisa

Área de Pesquisa	Contagem	%
Environmental Sciences & Ecology	200	23.39
Geology	91	10.64
Engineering	82	9.59
Water Resources	77	9.01
Computer Science	65	7.60
Geography	53	6.20
Physical Geography	44	5.15
Energy & Fuels	25	2.92
Meteorology & Atmospheric Sciences	23	2.69
Science & Technology - Other Topics	23	2.69
Remote Sensing	22	2.57
Information Science & Library Science	20	2.34
Agriculture	19	2.22
Operations Research & Management Science	16	1.87
Urban Studies	13	1.52
Imaging Science & Photographic Technology	10	1.17
Other research areas	72	8.42

Fonte: Autor (2018)

As palavras-chave também foram verificadas, como mostra a Tabela 5. Outros estudos mostram que a exploração das palavras-chave auxilia a verificar tendências evolutivas nos temas de pesquisa (BRAGGE *et al.* 2012). Ao todo, 1150 palavras-chave diferentes foram encontradas nos 453 artigos estudados. A Tabela 5 mostra as palavras-chave, a quantidade de

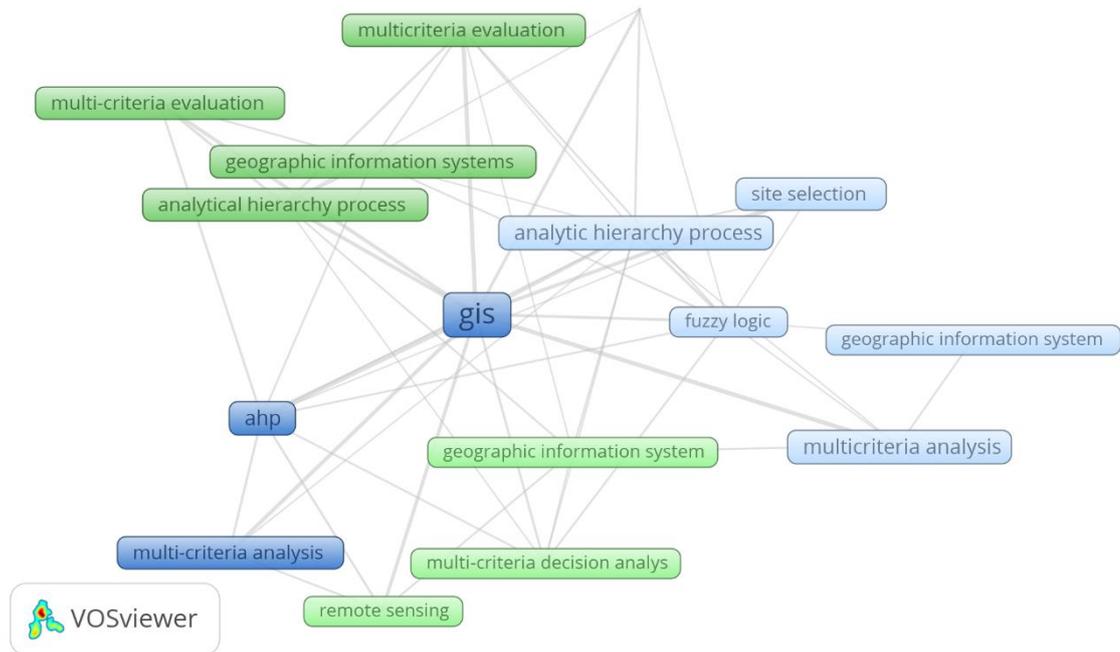
artigos que as contém e o percentual. A Figura 5 mostra a relação entre as principais palavras-chave.

Tabela 5 - Principais palavras-chave

Palavras-chave	Contagem	%
GIS	156	7,58%
AHP	33	1,60%
Analytic hierarchy process	28	1,36%
Multicriteria analysis	28	1,36%
Multicriteria evaluation	23	1,12%
Geographic information systems	21	1,02%
Analytical Hierarchy Process	20	0,97%
Multi-criteria analysis	19	0,92%
Multi-criteria evaluation	17	0,83%
Site selection	17	0,83%
Multi-criteria decision analysis	15	0,73%
Geographic Information System	14	0,68%
Geographic information system (GIS)	14	0,68%
Remote sensing	13	0,63%
Fuzzy Logic	13	0,63%
Multicriteria decision analysis	13	0,63%
Other key-words	1614	78,43%

Fonte: Autor (2018)

Figura 5 - Principais palavras-chave



Fonte: Autor (2018)

Os termos *GIS / Geographic information systems / Geographic information system / Geographic information system (GIS)* e *Multicriteria analysis / Multicriteria evaluation / Multi-criteria analysis / Multi-criteria evaluation / Multi-criteria decision analysis / Multicriteria decision analysis* são os que mais se repetem, pois representam a combinação de ambas as abordagens analisadas neste trabalho. Outro termo recorrente é *AHP / Analytic hierarchy process / Analytical hierarchy process*, ressaltando o uso deste método aditivo na análise espacial. Na Figura 5, também é observada a ocorrência de palavras-chaves relacionadas a aplicações ou outras ferramentas: *Site selection, Remote sensing* e *Fuzzy Logic*.

3.4.2 Artigos mais citados

A Tabela 6 apresenta os trabalhos mais citados nos últimos 10 anos (2006 - 2016). Para ranquear as posições foi considerada a média de citações por ano, obtida na base ISI. Assim, estudos recentes podem mostrar sua relevância devido ao grande número de citações. Alguns estudos apresentam mais de 100 citações no intervalo de 2006 - 2016, mas as suas médias anuais são baixas, portanto estão em posições inferiores. A Tabela 6 também mostra a

evolução do número de citações para o intervalo da pesquisa, mostrando que todos os artigos possuem tendência crescente para o número de citações anuais.

Tabela 6 - Artigos com maior número de citações

#	Título	Autores	Periódico	Número de citações	Citações por ano	Ano	Evolução de citação
1	GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature	Malczewski Jacek	International journal of geographical information science	444	37	2006	
2	Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region	Chang Ni-Bin; Parvathinathan G; Breeden Jeff B	Journal of environmental management	190	19	2008	
3	Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation	Chen Y; Yu J; Khan S	Environmental modelling & software	132	16.5	2010	
4	Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average	Gorsevski P.V., Donevska K.R., Mitrovski C.D., Frizado J.P.	Waste Management	93	15.5	2012	
5	Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression	Taskin Kavzoglu Emrehan Kutlug Sahin Ismail Colkesen	Landslides	54	13.5	2014	

6	Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models	Akgun A., Dag S., Bulut F.	Environmental geology	134	13.4	2008	
7	Landfill site selection by using geographic information systems	Sener Basak, Suzen Lutfi, Doyuran Vedat	Environmental geology	117	13	2006	
8	A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany	Meyer Volker; Scheuer Sebastian; Haase Dagmar	Natural Hazards	116	12.89	2009	
9	Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS	Borouhaki Sohell; Malczewski Jacek	Computers & Geosciences	128	12.8	2008	
10	Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives	Vahidnia Mohammad H; Alesheikh Ali A; Alimohammadi Abbas	Journal of environmental management	113	12.56	2009	

Fonte: Autor (2018)

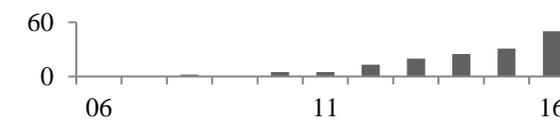
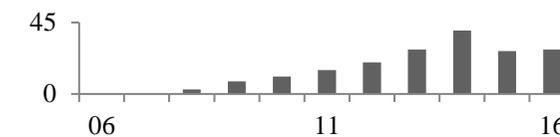
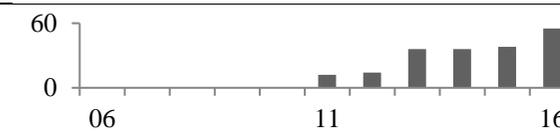
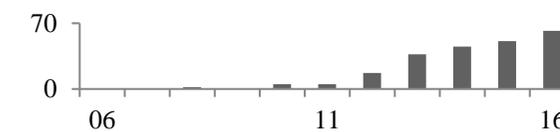
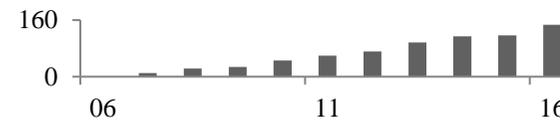
Com relação aos temas dos trabalhos mais citados, há uma divisão em quatro grupos. Trabalho #1 foi a primeira revisão sobre SIG-AMD. O segundo grupo são estudos para adequabilidade de escolha de terrenos: os trabalhos #2, #4 e #7 são voltados para escolha de aterros sanitários e o artigo #10 para escolha de alocação de hospitais. O terceiro grupo é composto por estudos que avaliam risco de deslizamento de terra (#5 e #6) e o risco de enchentes (#8). O quarto grupo são propostas metodológicas para o tema SIG-AMD: a pesquisa #3 propõe um modelo que incorpora critério único de síntese para avaliar o impacto dos pesos usados em relação ao resultado; o trabalho #9 agrega os conceitos de quantificadores *fuzzy* em um critério único de síntese, permitindo gerar diferentes cenários na recomendação final.

3.4.3 Autores mais citados

Os autores mais citados também foram investigados, usando as métricas da base ISI e considerando o número de publicações relacionadas ao tema SIG-AMD. Estas informações estão descritas na Tabela 7. Para apresentar estes dados, primeiro foram identificados os autores que mais tiveram trabalhos publicados segundo as pesquisas sobre SIG-AMD. Posteriormente, foram coletadas informações sobre o número de citações e o fator h , apenas para os artigos relacionados à SIG-AMD.

Tabela 7 - Autores mais citado segundo ISI Web of Science

* Autor	h-index	Número de Publicações	Total de citações
1 J. Malczewski	7	10	712
2 P. Gorsevski	7	8	224
3 Y. Chen	5	5	191
4 S. Boroushaki	3	3	180
5 P. Jankowski	7	10	151

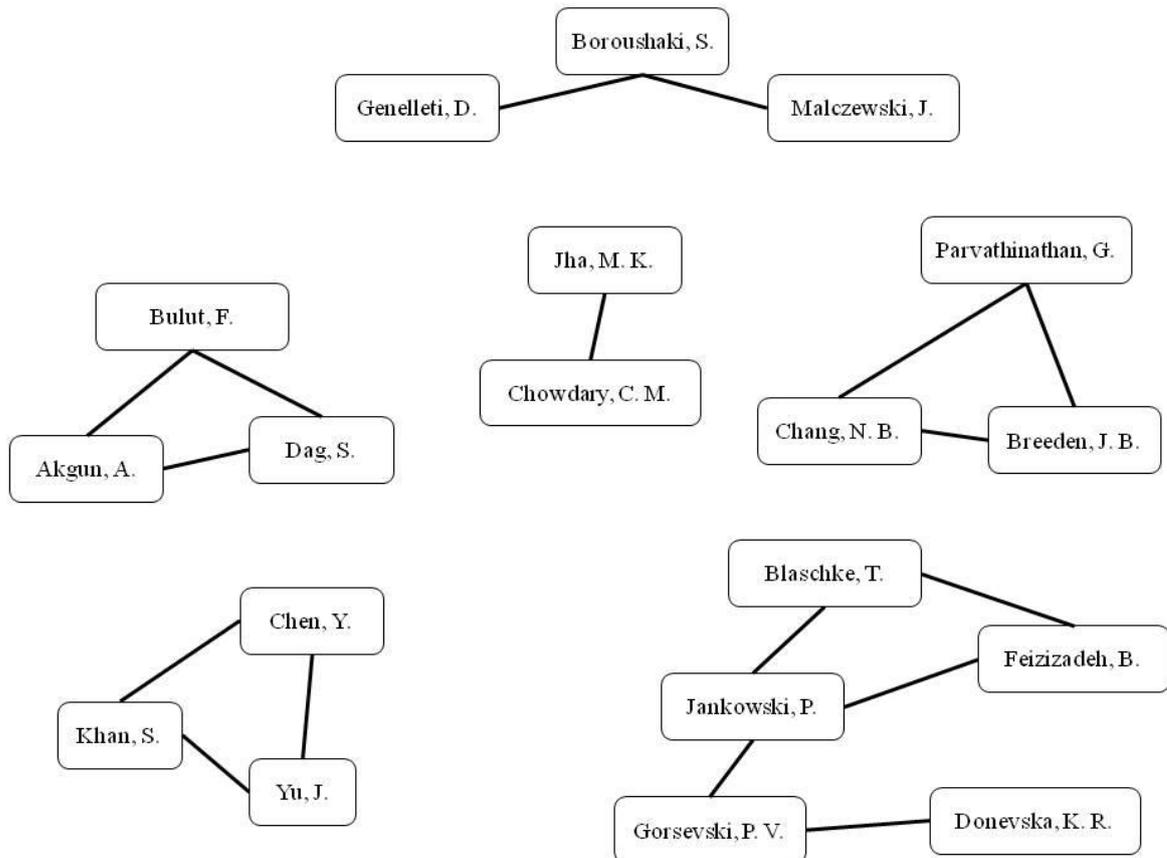


O autor Malczewski J. foi o que mais publicou entre o período de 2006-2016, obtendo um total de 712 citações, sendo 384 citações apenas para o seguinte título: *GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature*. Sendo, portanto, um estudo com contribuição relevante para o tema SIG-AMD, principalmente por estabelecer *insights* que ainda não haviam sido feitos na literatura.

Ainda com relação à Tabela 7, foi considerado o índice *h*, no qual mede a produção científica dos pesquisadores. O índice *h* é calculado pela relação do número de trabalhos publicados e o número de citações para cada trabalho (HIRSCH, 2005). Embora as informações do índice *h* da Tabela 7 sejam relativas somente aos trabalhos sobre SIG-AMD, alguns autores apresentam índice *h* geral de valores maiores, tais como os autores P. Jankowski e T. Blaschke que apresentam o índice nos valores de 13 e 18, respectivamente. Na prática, isso significa que estes autores têm outros artigos em outros temas de pesquisa. Também é observado que, de uma maneira geral, os autores possuem crescimento no número de citações, conforme a última coluna da Tabela 7.

Uma análise também foi realizada para as relações de coautoria. A coautoria são todos os autores que assinam um mesmo artigo (MORRIS & GOLDSTEIN, 2007). Quando há um ou mais artigos publicados em coautorias entre os mesmos pesquisadores, entende-se que há uma relação de colaboração ou cooperação (GLANZEL, 2002). Sendo assim, foi elaborada a rede de coautores considerando todos os autores dos 453 artigos estudados. A Figura 6 mostra a rede de relações, mostrando 6 clusters – cabe ressaltar que só foram considerados autores com pelo menos 100 citações.

Figura 6 - Relações de co-autoria



Fonte: Autor (2018)

Após a construção da rede é possível concluir a existência dos grupos formados por T. Blaschke, P. Jankowski, B. Feizizadeh, P. V. Gorsevski e K. R. Donevska atuando com pesquisas relacionadas ao uso de SIG-AMD para deslizamentos de terra. O segundo grupo formado por J. Malczewski, S. Boroushaki e D. Geneletti trabalhando com a construção e desenvolvimento de modelos SIG-AMD, considerando modelos aditivos e o uso de variáveis *fuzzy*. O terceiro grupo é o pesquisador Y. Chen e que se relaciona com outros dois pesquisadores J. Yu e S. Khan e que atua na avaliação do potencial hídrico. O quarto é a dupla V. M. Chowdary e M. K. Jha que também atua no uso do SIG-AMD para problemas hídricos. Os demais grupos também mostram proeminência sobre o tema não havendo um foco específico.

3.4.4 Componentes SIG-AMD

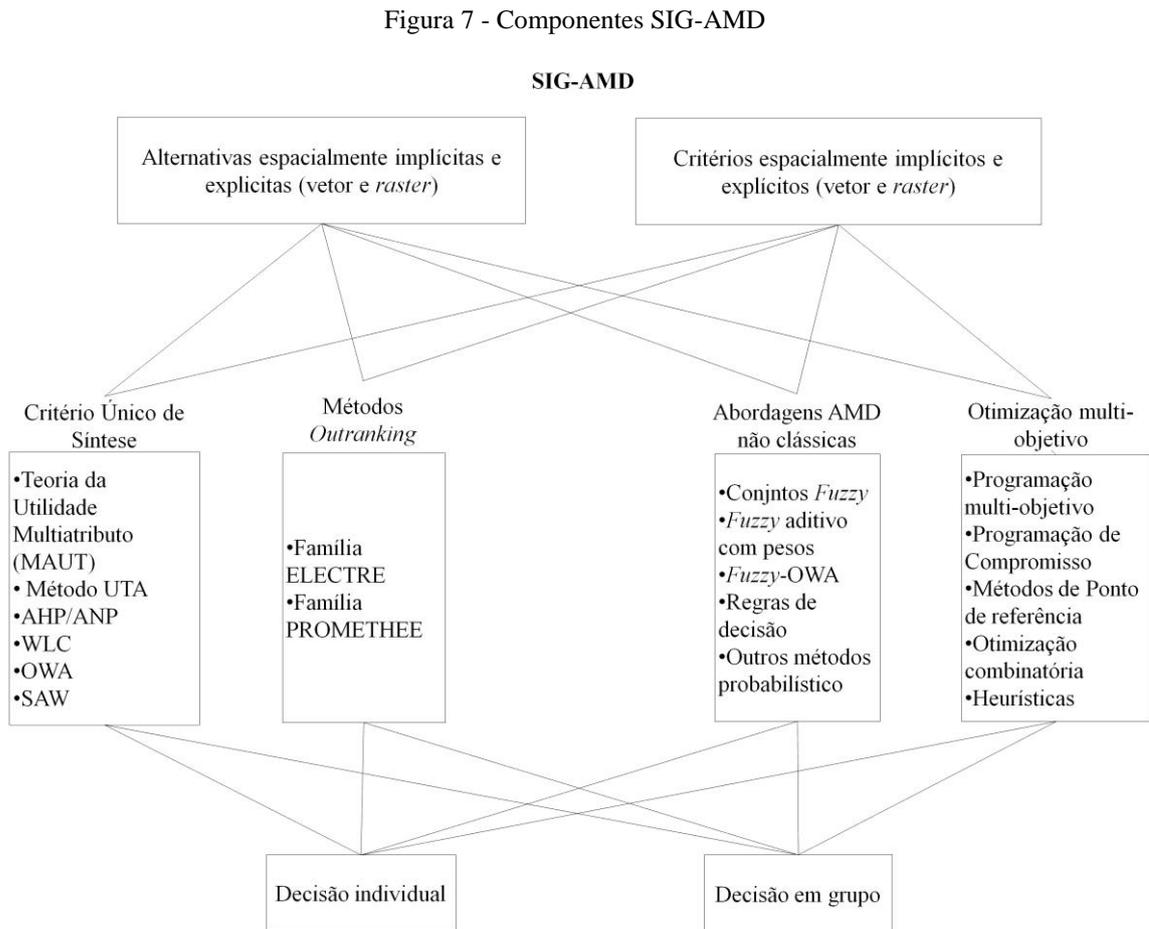
Malczewski & Rinner (2015) analisam trabalhos da área SIG-AMD de acordo com duas dimensões: SIG como componente do SIG-AMD e AMD como componente do SIG-AMD. SIG como componente do SIG-AMD estão relacionados à espacialidade das informações usadas: modelo de dados, critérios e alternativas. AMD como componente do SIG-AMD analisa os trabalhos de acordo com as características dos métodos multicritério: critério, decisão em grupo ou individual e estado da natureza.

Em relação aos componentes espaciais (SIG), os dados de entrada de um modelo podem ser do tipo *raster* ou vetor. *Raster* é quando os dados são armazenados na forma matricial, com células em tamanho fixo (KONECNY, 2003). O Vetor é a construção topológica das informações usando arcos e nós e mantendo atributos armazenados (HEYWOOD, CORNELIUS & CARVER, 2006). Deve-se mencionar que alguns problemas de decisão podem utilizar ambos os tipos de dados de entrada, *raster* e vetor. Nos artigos analisados, 31,57% deles usaram dados usando os dois formatos, *raster* e vetor. Utilizando somente *raster* são 39,96% dos trabalhos analisados e 4,42% usando apenas dados na forma de vetor. O restante dos estudos está relacionado a sistemas online e revisões da literatura. Com relação ao percentual achado, foram identificados 31,57% dos artigos usaram tantos dados no formato *raster* como na forma vetorial. Na forma *raster* foram 39,96% dos trabalhos analisados e 4,42% usaram apenas dados na forma de vetor. O restante dos estudos se distribuiu em sistemas *on-lines* e revisões da literatura.

A informação, na forma de critério ou alternativa, pode ser classificada como explícita ou implícita. Dados explícitos têm relação de preferência, tais como distância, proximidade entre objetos e rotas de caminhos; e será implícita quando a informação espacial não está atribuída à relação de dependência espacial e heterogeneidade espacial, como distribuição populacional e número de residentes (GOODCHILD, 1992; GOODCHILD & JANELLE 2004; MALCZEWSKI & RINNER, 2015). 44,59% dos trabalhos estudados usaram critérios espacialmente explícitos, 7,51% usaram apenas critérios espacialmente implícitos e 43,27% aplicaram critérios com as duas características. Em relação às alternativas, 73,51% dos artigos aplicaram alternativas espacialmente explícitas, 12,80% consideraram apenas alternativas espacialmente implícitas e 3,53% aplicaram ambos os conceitos.

Sobre os componentes multicritério, analisou-se o tipo de decisão (individual ou em grupo) e o método utilizado. Havendo 31,57% de trabalhos com decisão em grupo e 63,80%

com decisão individual – nos demais trabalhos, ou a classificação não se aplica ou não foi informado se a decisão foi individual ou em grupo. Para classificação dos métodos multicritério, utilizou-se a categorização de Greco, Ehrgott & Figueira (2016) para agregar os métodos dentro de determinados segmentos. A Figura 7 mostra a relação entre os componentes em SIG e AMD, baseada em Malczewski & Rinner (2015); Greco, Ehrgott & Figueira (2016).



Fonte: Malczewski & Rinner (2015); Greco, Ehrgott & Figueira (2016)

3.4.5 Grandes áreas

Nesta subseção serão apresentados os resultados relativos as 7 grandes áreas identificadas. Para desempenhar esta análise foi realizada uma leitura individual de cada artigo para classificar dentro das áreas. Para cada área serão tratados pontos que se mostram relevantes, tais como: características das publicações (2006-2016), apresentação dos

trabalhos, métodos empregados e tipo e origem dos dados utilizados. Ao final, discorre-se sobre as subcategorias verificadas em cada área.

3.4.5.1 *Análise do meio-ambiente*

Esta é a área com maior número de artigos, totalizando 124. São trabalhos que buscam identificar espécie agrícola para cultivo, conservação do solo, preservação ambiental e produtividade agrícola, pecuária e piscicultura. Em 2006, apenas quatro artigos foram catalogados na base ISI, enquanto que 2016 foram publicados 25 artigos com este tipo de abordagem. Tal tema tem mostrado crescimento, justificado pela aproximação do assunto com dilemas ambientais que a sociedade vem enfrentando.

O objetivo é modelar o problema com SIG-AMD e mapear os locais minimizando os impactos ocasionados pela ação do homem. Portanto, citam-se como exemplos os estudos para demarcação de espaços para vida de espécies selvagens, inibindo a interferência humana (GÜLCI & AKAY, 2015; TEFAMARIAM & FANG, 2016), escolha de exploração de óleo e gás visando à minimização dos impactos causados (BRODY *et al.* 2006), impactos em ecossistemas pela produção na agricultura e pecuária (KUMAR & JHARIYA, 2015; SILVA, ALÇADA-ALMEIDA & DIAS, 2014b), conservação de espécies vegetais (FERNÁNDEZ & MORALES, 2016) e adequabilidade para exploração rural sustentável (OTTOMANO *et al.* 2016a).

Com relação aos métodos observados nas pesquisas, houve grande frequência para abordagens usando critério único de síntese. Foi observado que nestes artigos com modelos aditivos, ocorreram combinações entre métodos. Dubovyk, Menz & Khamzina (2016) usaram funções *fuzzy* para transformar os valores de desempenho das alternativas em relação a cada critério. Outros estudos também seguiram a mesma avaliação das alternativas (CHEN & PAYDAR 2012; COMBER *et al.* 2010; WOOD & DRAGICEVIC, 2007). A maioria dos estudos fez a agregação de dados no formato *raster*.

Outros tipos de abordagem multicritério também foram reportados. Métodos de sobreclassificação (MACARY *et al.* 2014), baseado em regras de decisão (OTTOMANO *et al.* 2016a; OTTOMANO *et al.* 2016b), método VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) (POUREBRAHIM *et al.* 2014), *Logic Scoring of Preference* (MONTGOMERY *et al.* 2016) e programação multiobjetivo (MEYER & GRABAUM, 2008). Por fim a Tabela 8 apresenta as subáreas e os fatores contidos nesta área.

Tabela 8 - Subáreas, fatores usados e autores para Análise do meio ambiente

Área: Análise do meio ambiente		
Subárea	Alguns fatores utilizados	Autores
Agricultura	Condutividade hídrica do solo, declividade, textura do solo, nível hídrico, condutividade elétrica da bacia hídrica, tipo de cultivo, total produzido, clima, salinidade da água	Chen, Yu & Khan (2010); Kamosoko <i>et al.</i> (2009); Chen, Yu & Khan (2013); Mendas & Delali (2012); Fealy <i>et al.</i> (2010); Feizizadeh & Blaschke (2014); Hossain <i>et al.</i> (2007); Macary <i>et al.</i> (2014)
Conservação do meio-ambiente	Tipo de habitat, uso do solo, malha viária, geologia, distribuição de espécies, acessibilidade turística, hidrologia do solo, declividade, estrutura social e econômica das fazendas, poluição sonora	Geneletti & van Duren (2008); Stelzenmüller <i>et al.</i> (2009); Ligmann-Zielinska & Jankowski (2014); Zhang & Huang (2011); Karnatak <i>et al.</i> (2007); Rohde <i>et al.</i> (2006); Strager & Rosenberger (2006); Kamosoko <i>et al.</i> (2009); Vadrevu, Eaturu & Badarinath (2010); Fernández & Morales (2016); Aydi <i>et al.</i> (2016); Suryabhagavan, Alemu & Balakrishnan (2015); Colak & Memisoglu (2015); Mourão <i>et al.</i> (2014)
Aquicultura	Drenagem do solo, densidade do solo, dimensão da bacia hídrica, média anual de chuva, tipo solo, declividade, uso do solo/cobertura do solo, composição química, áreas de corais, áreas de mangue, geomorfologia	Nila Rekha <i>et al.</i> (2015); Silva <i>et al.</i> (2016); Tesfamariam & Fang (2016); Omo-Irabor <i>et al.</i> (2011); Mourão <i>et al.</i> (2014); Wood & Dragicevic (2007); Macary <i>et al.</i> (2014)

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.2 Análise Urbana

Esta área tem estudos com o objetivo de encontrar e definir espaços relativos as melhores rotas de transporte, escolha/seleção de facilidades para atender a demanda populacional e planejamento habitacional. Nesta pesquisa, foram verificados 89 artigos publicados no intervalo de 2006-2016. Semelhante a área anterior, em 2006 houve um número pequeno de publicações, havendo um crescimento mais expressivo a partir de 2013. Neste campo, observa-se a predominância de modelos de decisão em grupo: visto que os resultados afetam toda uma região, a decisão não pode ser responsabilidade de apenas um indivíduo.

Novamente, a maioria dos artigos empregou métodos critério único de síntese, totalizando 59 publicações. Destas publicações, 39 usaram AHP/ANP. Outros estudos, podem ser citados empregando alocação multiobjetivo (ARDESHIR *et al.* 2014), inteligência artificial com modelo multicritério (KUMAR & SHAIKH, 2013), análise de consenso entre decisores (CHAKHAR & MOUSSEAU, 2010) e emprego de métodos não-compensatórios (JELOKHANI-NIARAKI & MALCZEWSKI, 2015).

Como colocação final desta área, destaca-se a ênfase em estudos com agregação em grupo. Foram identificados trabalhos que introduziram a importância da participação de múltiplos decisores (NATIVIDADE-JESUS, COUTINHO-RODRIGUES & ANTUNES, 2007; ÖZCEYLAN *et al.* 2016; LIU *et al.* 2016) devido os problemas de decisão não caberem a um único indivíduo. Porém, esses estudos não estruturam formalmente metodologias para agregação de múltiplos decisores, embora Boroushaki & Malczewski (2010b) tenham desenvolvido um modelo considerando o consenso dos múltiplos decisores. A Tabela 9 apresenta a divisão de áreas, os critérios usados e os autores com trabalhos produzidos em cada subcategoria

Tabela 9 - Subáreas, fatores usados e autores em Análise urbana

Análise urbana		
Subárea	Alguns fatores utilizados	Autores
Planejamento urbano/regional	Preço do terreno, modal de transporte (proximidade), declividade, proximidade até aeroportos, proximidade de recursos hídricos, infraestrutura, proximidade para locais de trabalho/centros comerciais, disponibilidade de áreas de recreação, distância até áreas de conservação ambiental, geologia, distância até distritos industriais, tipo de clima, educação e renda	Boroushaki & Malczewski (2008); Malczewski (2006b); Mosadeghi <i>et al.</i> (2015); Liu <i>et al.</i> (2007); Boroushaki & Malczewski, (2010); Mahiny & Clarke (2012); Tavares-Pereira <i>et al.</i> (2007); Bell, Schuurman & Hayes (2007)
Locação de facilidades (hospitais, áreas industriais, áreas residenciais e áreas verdes)	custo do terreno, densidade populacional, malha viária, tipo de vegetação, áreas urbanas, acessibilidade, recursos hídricos, custo de alocação, alocação de transporte, paisagem, topografia, distância até áreas naturais, distância até áreas degradadas, acessibilidade para facilidades	Vahidnia, Alesheikh & Alimohammadi (2009); Jeong, García-Moruno & Hernández-Blanco (2013); Liu <i>et al.</i> (2007); Rybarczyk & Wu (2010); Zucca, Sharifi & Fabbri (2008); Li & Liu (2007)
Mobilidade	Segurança do transporte, centro médicos, estações policiais, serviços, localização de zonas portuárias, distância até facilidades, população residente, alocação de estradas, áreas verdes, áreas de proteção ambiental, recreação, topografia, aquíferos, densidade populacional, densidades de pessoas empregadas, declividades	Niaraki & Kim (2009); Rybarczyk & Wu (2010); Tavares-Pereira <i>et al.</i> (2007); Sañudo <i>et al.</i> (2017); Abdullahi, Pradhan & Jebur (2014); Tegou, Polatidis & Haralambopoulos (2012); Yakar & Celik (2014); Kim & Lee (2014); Ardeshir <i>et al.</i> (2014); Tong <i>et al.</i> (2010)

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.3 Risco do solo

Esta área agrega trabalhos envolvendo riscos e desastres naturais. São estudos que dizem respeito ao manejo do solo, no sentido de mitigar efeitos causados por desastres

naturais e/ou riscos devido a ação do homem. Os desastres naturais catalogados são definidos como deslizamento de terra, inundações e terremotos. Os modelos de preferência usando SIG-AMD têm como objetivo identificar áreas vulneráveis ou propor planos de ação para os casos de desastres.

Em relação aos métodos, 51 artigos aplicaram abordagens aditivas distribuídas entre AHP/ANP, OWA e Local WLC. Por outro lado, este tipo de problema apresenta uma incerteza associada a exatidão sobre quando e onde o desastre pode acontecer (GORSEVSKI & JANKOWSKI, 2010), ocasionando resultados imprecisos e não desejados (FEIZIZADEH & BLASCHKE, 2014). Portanto, novos modelos foram concebidos tomando por base este aspecto. Feizizadeh, Jankowski & Blaschke (2014); Feizizadeh & Blaschke (2014) associaram AMD, informações espaciais e Teoria de Dempster-Shafer. Yatsalo *et al.* (2015) desenvolveram um *framework*, o que incluía análise de incerteza para problemas espaciais envolvendo riscos. Sujatha & Rajamanickam (2014) identificaram os locais mais perigosos para deslizamento de terra, em uma região da Índia. Em seguida aplicaram uma matriz de risco para avaliar os impactos e danos negativos causados pelos possíveis deslizamentos.

Com relação aos outros métodos multicritério combinados com análise espacial, notou-se o uso de heurísticas de busca (AHMADISHARAF, KALYANAPU & CHUNG, 2015; VOGEL, 2016), otimização de enxame de partículas, com a participação de múltiplos decisores (DELAVAR, MORADI & MOSHIRI, 2015) e o uso de autômatos celulares para simular deslizamento de terras (LAI, DRAGÍČEVIĆ & SCHMIDT, 2013). A Tabela 10 apresenta a divisão de áreas, os critérios usados e os autores com trabalhos produzidos em cada subcategoria.

Tabela 10 - Subáreas, alguns fatores autores para a áreas de Riscos de solo

Área: Riscos do solo		
Subárea	Alguns fatores utilizados	Autores
Deslizamento de terra	Litologia, declividade, drenagem do solo, elevação, acessibilidade viária, aspectos do terreno, cobertura do solo, precipitação, informação geológica, condições climáticas	Kavzoglu, Sahin & Colkesen (2014); Akgun Dag & Bulut (2008); Moghaddam (2013); Feizizadeh & Blaschke 2013; Peng <i>et al.</i> (2014); Akgun & Türk (2010); Feizizadeh, Jankowski & Blaschke (2014); Delavar, Moradi & Moshiri (2015); Gorsevski & Jankowski (2010); Gorsevski <i>et al.</i> (2006)

Risco de inundações	Impacto anual hídrico, risco ambiental agregado, índice médio pluviométrico, população, erosão, canais de escoamento, tipo de cobertura, avaliação de dados, transporte, áreas de inundação, disponibilidade energética, buffer hídrico	Meyer, Scheuer & Haase (2009); Fernández & Lutz (2010); Wang <i>et al.</i> (2011); Lee, Jun & Chung (2013); Zanuttigh <i>et al.</i> (2014); Hazarika <i>et al.</i> (2016)
Risco de terremotos	Topografia, distância até a origem, classificação do solo, taxa populacional (crianças, idosos, nível de educação, homens, mulheres), taxa de pessoas ocupadas, renda média, disponibilidade de hospitais, áreas residenciais, áreas comerciais,	Karaman & Erden (2014); Armaş (2012)

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.4 Gerenciamento de recursos hídricos

Esta categoria possui grande aplicabilidade com temas relacionados ao gerenciamento de aquíferos, reuso da água, sistemas de irrigação e avaliação da qualidade da água. Geralmente, os estudos têm o objetivo de identificar locais mais adequados para exploração sustentável dos recursos hídricos, havendo uma predominância por estudos em lençóis freáticos.

Novamente, os modelos de preferência construídos, se baseiam em métodos aditivos. Observando as publicações apenas do ano de 2016, os estudos envolveram o uso de AHP/ANP e/ou WLC, com exceção de Rebolledo *et al.* (2016) que usou um modelo baseado em Pontuações Lógicas de Preferência. Os trabalhos que investigaram pesquisas em lençóis freáticos, com exceção a Rebolledo *et al.* (2016), utilizaram métodos aditivos AHP/ANP e/ou WLC (MANDAL *et al.* 2016; KUMAR, GAUTAM & JHARIYA, 2016; AGARWAL & GARG, 2016; ELMAHDY & MOHAMED, 2016). Os demais subtemas também empregam modelos aditivos voltados para: risco de inundações (HAZARIKA *et al.* 2016), conservação de bacias hídricas (COMINO *et al.* 2016) e conservação de águas para consumo humano (ALVARADO *et al.* 2016).

Por ser um assunto de grande interesse e impacto, o número de artigos coletados nesta pesquisa foi confrontado com outros estudos. Govindan & Jepsen (2016); Behzadian *et al.* (2010) fizeram revisões de literatura considerando os métodos ELECTRE e PROMETHEE, respectivamente. Os autores encontraram uma quantidade bem superior de artigos tratando a respeito do gerenciamento hídrico, diferente desta pesquisa, em que foram reportados apenas

3 artigos usando estruturas de preferências não-compensatórias. A ausência de estudos em SIG-AMD para método não-compensatórios se deve ao esforço computacional resultante das comparações pareadas, conforme reportado em Marinoni (2006). A grande diferença consiste no uso de dados: quando são usadas informações do tipo *raster* para este tipo de problema, o decisor requer identificar áreas superficiais, consistidas por um conjunto de *pixels*. Isso inclui a espacialidade explícita da informação. Portanto, o esforço computacional aumenta consideravelmente. Enquanto que empregar apenas modelos MCDM, excluindo a espacialidade, permite empregar abordagens não-compensatórias

A Tabela 11 apresenta a divisão de áreas, os critérios usados e os autores com trabalhos produzidos em cada subcategoria.

Tabela 11 - Subáreas, fatores utilizados e autores para Recursos hídricos

Área: Riscos do solo		
Subáreas	Fatores utilizados	Autores
Lençóis freáticos	Topografia de elevação, corpo de superfície de água, declividade, geomorfologia, densidade de drenagem, mapa pluviométrico, litologia, densidade linear, profundida freática, tipo de solo, altitude, cobertura e uso do solo, distância para centros urbanos, custo de instalação, custo de reservatórios, permeabilidade, fratura do solo, condições limiares, textura do solo, geologia, salinidade do solo, características físico-químico (pH, cloro, sulfetos)	Machiwal, Jha, & Mal (2011); Rahmati <i>et al.</i> (2014); Chowdhury, Jha & Chowdary (2010); Rahman <i>et al.</i> (2012); Coutinho-Rodrigues, Simão & Antunes (2011); Chenini, Mammou & May (2010); Adiat, Nawawi & Abdullah (2012); Jha, Chowdary & Chowdhury (2010); Teixeira <i>et al.</i> (2015); Razandi <i>et al.</i> (2015); Kumar, Gautam, & Kumar (2014); Anane <i>et al.</i> (2012)
Fornecimento de água	Vulnerabilidade do aquífero à poluição, distribuição populacional, uso do solo, índice de desenvolvimento humano, parâmetro físico-químicos (pH, sulfetos), densidade de drenagem, intensidade pluviométrica, declividade, aspecto, condições ambientais, vias de acesso, centros urbanos	Alvarado <i>et al.</i> (2016); Jeihouni <i>et al.</i> (2015); Jha <i>et al.</i> (2014); Grayson <i>et al.</i> (2012); Tang <i>et al.</i> (2012); Panagopoulos <i>et al.</i> (2012); Coelho, Labadie & Fontane (2012); Coutinho-Rodrigues, Simão & Antunes (2011); Afify (2010)
Conservação de bacias hídricas	Uso do solo/cobertura do solo, declividade, drenagem do solo, geohidrologia, tipo de solo, textura do solo, qualidade da água. Investimento, ecossistema, indústria do segmento	Chowdary <i>et al.</i> (2013); Amiri <i>et al.</i> (2013); Anoh <i>et al.</i> (2012); Kang & Lee (2011)
Recarga de barragens	Uso do solo, infiltração, declividade, impermeabilidade hídrica, profundidade de lençóis freáticos, distância até zonas poluídas, áreas de proteção ambiental	Rahman <i>et al.</i> (2012); Malekmohammadi, Ramezani Mehrian & Jafari (2012); Pedrero <i>et al.</i> (2011)
Reuso da água	Capacidade para armazenar resíduos hídricos, risco de vazamento, distância, declividade, capacidade de purificação, vulnerabilidade lençóis freáticos, zonas agrícolas, distância para rios e lagos, acessibilidade, centros urbanos, salinidade do solo	Massei <i>et al.</i> (2014); Kraias (2010); Kallali <i>et al.</i> (2007); Anagnostopoulos & Vavatsikos (2012)

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.5 Gerenciamento de resíduos

Esta área apresentou crescimento na base ISI para o intervalo em que foi feita a pesquisa. Foram identificadas 34 publicações, havendo uma contribuição de 15 trabalhos no período de 2014 até 2016. São estudos que procuram identificar espaços mais adequados para alocação de resíduos provenientes de cidades e regiões metropolitanas. Escolher o local mais adequado para depósito de resíduos sólidos é uma atividade multidisciplinar, que incorpora aspectos naturais, sociais, políticos e éticos (FEO & GISI, 2014; ESKANDARI, HOMAEE & MAHMODI, 2012).

As contribuições que este tema traz são relativos à importância ambiental e às atuais legislações impostas por governos (BAHRANI *et al.* 2016). Isso traduz o novo conceito de gestão ambiental, em que o uso de ferramentas e modelos se tornam cada vez mais empregados para tomada de decisão. Neste sentido, o SIG-AMD se mostra uma forma alternativa para agregar as preferências dos decisores no momento de escolha dos locais mais adequados. Confrontando com os trabalhos de Behzadian *et al.* (2010); Govindan & Jepsen (2016) também foi observado a presença do tema, mas inserido dentro de uma área maior que é o Gerenciamento do Meio-Ambiente. Em Demesouka, Vavatsikos & Anagnostopoulos (2014) foi feita uma revisão da literatura apenas com trabalhos usando SIG-AMD para este tema, gerando como contribuição os aspectos mais importantes para a construção de modelos para escolha de aterros de resíduos. A Tabela 12 apresenta a divisão de áreas, os critérios usados e os autores com trabalhos produzidos em cada subcategoria.

Tabela 12 - Subáreas, fatores usados e autores para a área Gerenciamento de resíduos

Gerenciamento de resíduos		
Subáreas	Fatores utilizados	Autores
Resíduos sólidos	Tipo de solo, zonas úmidas, elevação, buffer de rios, distância até corpos de água, hidrologia, distância para fauna e flora, zonas urbanas, proximidade para estradas, proximidade até construções, buffer de construções, custo do terreno, distância para transportes, acesso viário, utilidade pública, densidade populacional, disponibilidade até facilidades, linhas de transmissão, tubulação de gás natural, centros urbanos e históricos, centros industriais e comerciais, limites de fronteira e zonas costeiras	Chang, Parvathinathan & Breeden (2008); Guiqin <i>et al.</i> (2009); Şener, Süzen & Doyuran (2006); Ekmekcioglu, Kaya & Kahraman (2010); Moeinaddini <i>et al.</i> (2010); Peter <i>et al.</i> (2013); Tavares, Zsigraiová & Semiao (2011); Demesouka, Vavatsikos & Anagnostopoulos (2013a); Sharifi <i>et al.</i> (2009); Gorsevski <i>et al.</i> 2012; Nas <i>et al.</i> (2010); Eskandari, Homae & Mahmodi (2012a);

Resíduos perigosos	Centros urbanos, risco de infiltração freática, agricultura presente, tráfego de modais, áreas de proteção, clima declividade, elevação, fauna e flora, corpos de água, cobertura do solo, índice pluviométrico	Feo & Gisi (2014); Sharifi <i>et al.</i> (2009)
--------------------	---	---

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.6 Gerenciamento energético

O Gerenciamento Energético cresce devido à crise global por novas fontes alternativas de energia (POTI, GOLI & JOKSIMOVI, 2016). Temas como mudanças climáticas, aumento do preço das fontes de energia, preocupação quanto a fontes mais seguras (HÖFER *et al.* 2016) e emissão de poluentes (MATEJICEK, 2015) são cada vez mais discutidos no contexto mundial e que justificam a busca por matrizes energéticas viáveis. Neste sentido, 41 estudos foram verificados na literatura relacionados a SIG-AMD. A proposta é identificar os locais ideais para novas instalações geradores de energia (usinas eólicas, solares e de biogás) de forma mais eficiente. O continente europeu foi o que mais representou esta área com 34 contribuições científicas.

Os resultados apontam para contribuições usando métodos aditivos (SÁNCHEZ-LOZANO, GARCÍA-CASCALES & LAMATA, 2016b; HÖFER *et al.* 2016; MATEJICEK, 2015; WATSON & HUDSON, 2015). Entretanto, também foram observados estudos usando métodos pertencentes a família ELECTRE (BARIS *et al.* 2015; SILVA, ALÇADA-ALMEIDA & DIAS, 2014a; SÁNCHEZ-LOZANO, GARCÍA-CASCALES & LAMATA, 2014).

Finalmente, por ser uma área nova, são explorados novos tipos de abordagem, em função de ser viável tratar este tipo de problema em SIG-AMD. As leis ambientais geram pressões para identificação de locais que não agridam o meio ambiente e o ecossistema, sendo o SIG-AMD atrativo para auxiliar neste tipo de decisão. A Tabela 13 apresenta a divisão de áreas, os critérios usados e os autores com trabalhos produzidos em cada subcategoria.

Tabela 13 - Subáreas, fatores usados e autores para a área de Gerenciamento energético

Gerenciamento energético		
Subáreas	Fatores usados	Autores
Energia solar	Irradiação solar de superfície, temperatura do solo, declividade, orientação, distância até modais, distância até centro urbanos, áreas preservadas, áreas sem desenvolvimento, cursos de água,	Tahri, Hakdaoui & Maanan (2015); Watson & Hudson (2015); Sánchez-Lozano, García-Cascales & Lamata (2016a); Noorollahi <i>et al.</i> (2016); Suh & Brownson (2016); Janke (2010); Chen, Huang

	linhas de transmissão, temperatura média	& Tsuei (2014)
Energia eólica	Velocidade média do vento, distância até áreas protegidas, distância para rotas de tráfico, redes de transmissão de energia, uso do solo/cobertura do solo, fauna, rios, intensidade de turbulência, ocorrência de vento, força do vento	Vagiona & Karanikolas (2012); Azizi & Malekmohammadi (2014); Watson & Hudson (2015); Sánchez-Lozano, García-Cascales, & Lamata (2016b); Al-Yahyai <i>et al.</i> (2012); Gorsevski <i>et al.</i> (2013); Höfer <i>et al.</i> (2016); Baris <i>et al.</i> (2015); Mekonnen & Gorsevski (2015)
Energia do biogás	Uso do solo, vegetação, tipo de solo, elevação, impermeabilidade do solo, sedimentação, áreas protegidas, culturas agrícolas, hidrografia presente, eletricidade presente, Áreas urbanas e densidade populacional	Fokaides <i>et al.</i> (2015); Silva, Alçada-Almeida & Dias (2014a); Franco <i>et al.</i> (2015); Kühmaier, Kanzian & Stampfer (2014); Perpiña, Martínez-Llario & Pérez-Navarro (2013); Brody <i>et al.</i> (2006)
Energia nuclear	Área de fauna e flore, centros urbanos, extensão de áreas hídricas, água potável, intensidade sísmica, profundidade do oceano, fenômenos meteorológicos, uso do solo, topografia, topografia	Abudeif, Moneim & Farrag (2015)
Roteirização de linhas de transmissão	Risco de deslizamento, declividade, zonas de gelo, zona florestais, flora e fauna, distância até centros modais, cobertura e uso do solo, centros residenciais, textura do solo, regiões de minério, hidrografia	de Lima <i>et al.</i> (2016); Eroğlu & Aydin (2015); Bagli, Geneletti & Orsi (2011); Braga & Junqueira (2016)
Hidroelétricas	Ondulação hídrica estradas, cidades, canais hídricos, agricultura, cobertura vegetal, sedimentação do solo, formação sedimentar, terrenos graníticos, fraqueza do terreno, altitude.	Kordi & Brandt (2012); Jiménez Capilla, Carrión & Alameda-Hernandez (2016)

Fonte: Autor (2018)

3.4.5.7 Outros

Neste grupo estão reunidos os trabalhos que não se encaixam nos temas definidos anteriormente. São estudos com diferentes tipos de aplicação em áreas militares e segurança pública, estudo de conflitos espaciais, e outras contribuições que o SIG-AMD podem trazer dentro do contexto de tomada de decisão. Este fato mostra como o tema SIG-AMD ainda possui muitas contribuições a serem feitas. Neste grupo também foram inseridas as contribuições teóricas que não tiveram o principal foco na resolução de um problema específico.

No geral, os estudos empregam métodos como AHP/ANP e WLC, sendo bem diversificados. Rakotomanana *et al.* (2007) usaram WLC para mapear zonas susceptíveis a transmissão de malária, obtendo um caminho para intervenções para evitar casos de

epidemias. Cabrera-Barona *et al.* (2015) conduziram um estudo com o AHP para criar Índice de Pobreza e em seguida, aplicaram o OWA para analisar diferentes cenários de acordo com as atitudes do decisores perante a propensão ou aversão ao risco. Chow & Sadler (2010) apresentam um modelo considerando múltiplos especialistas e abordagem Delphi integrada com AHP para adequação de áreas para acampamento de escoteiros. Çetinkaya *et al.* (2016) aplicaram *Fuzzy-AHP* para identificar os locais mais apropriados para abrigar refugiados de guerra.

Como já foi mencionado, neste grupo também foram inseridos estudos que possuem abordagem teórica ou proposição de novas metodologias. A partir de 2006, há diferentes contribuições nesse contexto. Malczewski (2006a) apresenta a primeira revisão da literatura. Em Malczewski (2006b) um novo conceito sobre preferências verbais é idealizado. Chakhar & Mousseau (2007) introduzem um conceito alternativo de *decision map algebra*, como ferramenta genérica para *multicriteria spatial modeling*. Ozturk & Batuk (2011) mostram a viabilidade da linguagem VBA associado com o SIG-AMD através da construção de uma ferramenta com diferentes tipos de métodos aditivos. Agostini *et al.* (2012) desenvolveram um sistema espacial para apoiar decisões que avalia múltiplas perspectivas levando em consideração o risco regional e avaliação socioeconômica integrada, para mapear possíveis locais contaminados. Mekonnen & Gorsevski (2015) introduzem o conceito de *Participatory GIS* associado com o modelo aditivo e contagem de Borda para diferentes *stakeholders*. Palmisano *et al.* (2016) desenvolveram um modelo AHP em grupo para adequação de áreas rurais considerando aspecto ambiental, social e econômico.

Portanto, os artigos agrupados em “Outros” mostram a diversidade de aplicações e construções de *insights* metodológicos. Com certeza, vem para ressaltar a importância deste tipo de abordagem (SIG-AMD) no contexto de tomada de decisão espacial em segurança pública.

3.5 Considerações sobre o capítulo

Com relação às sete áreas em que os estudos foram agrupados, foi verificado que a área de gerenciamento energético não foi considerada no estudo de Malczewski (2006a), tendo surgido contribuições a partir de 2006. Este é, portanto, um tema recente que conta com 40 publicações no período de 2006-2016. Nestes artigos, o objetivo é identificar locais mais adequados para instalação de fontes geradoras de energia, tomando como base aspectos econômicos, sociais, ambientais e técnicos. A preocupação com a crise global energética, uso

de fontes alternativas (POTI, GOLI & JOKSIMOVI, 2016), prospecção de cenários futuros quanto ao uso de energias sustentáveis (WANDERER & HERLE, 2015) e políticas ambientais de governo (SÁNCHEZ-LOZANO, GARCÍA-CASCALES & LAMATA, 2016a) são as considerações para o uso deste tipo de energia.

Dentre as abordagens SIG-AMD, verificou-se que os métodos com escolhas holísticas são os menos frequentes (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012). Na pesquisa foram verificados estudos com *Dominance-based Rough Set* (DRSA) envolvendo riscos naturais (GORSEVSKI & JANKOWSKI, 2008; LIU *et al.* 2011), recursos hídricos (UDDAMERI & HONNUNGAR, 2007), planejamento rural (OTTOMANO *et al.* 2016a) e segurança pública (FIGUEIREDO & MOTA 2016; FIGUEIREDO, PEREIRA & MOTA, 2017).

Finalmente, a análise sistemática e bibliométrica deste capítulo permite inferir a necessidade de modelos que estejam voltados para o problema da segurança pública. Além de mostrar trazer a importância de modelos que também utilizem uma visão holística para agregar as preferências.

4 MODELO SIG-AMD PARA AVALIAR NÍVEL DE VULNERABILIDADE

O presente capítulo irá apresentar a construção do modelo SIG-AMD para dados vetoriais. Para isto, foi desenvolvido um modelo com base em escolhas holísticas, permitindo agregar as preferências de forma mais intuitiva. O modelo foi construído para avaliar o nível de vulnerabilidade relacionado ao problema da segurança pública e aplicado à cidade do Recife. A construção do modelo, tomou como consideração os crimes do tipo homicídios, permitindo identificar os locais mais vulneráveis para este tipo de ocorrência.

A segurança pública é a proteção dos indivíduos, sendo responsabilidade dos governos e tomadores de decisão atuantes e ligados a órgãos de governo (UANG, 2013; THE WORLD BANK, 2010). Entretanto, as causas que ocasionam e disseminam a violência são várias. Dentro deste contexto, este estudo se volta para a falta de segurança pública urbana. Atualmente, a violência urbana e a alocação ineficiente de recursos públicos são relacionadas ao crescimento urbano desenfreado e mal planejado (THE WORLD BANK, 2010), tráfico de drogas (WIDNER, REYES-LOYA & ENOMOTO 2011; CRUZ, 2011) e desigualdades sociais (PATINO *et al.* 2014; PEREIRA, MOTA & ANDRESEN, 2015; CRUZ 2011; MENEZES *et al.* 2013).

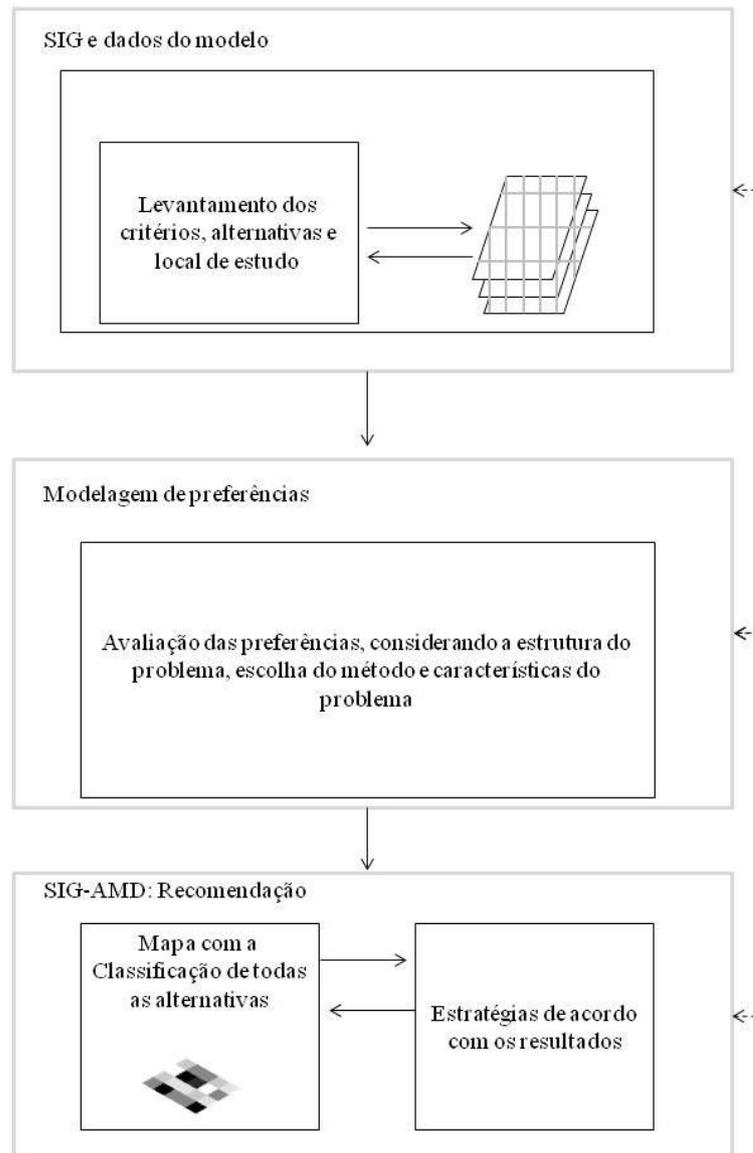
Os Sistemas de Informações Geográficas são úteis para apoiar os processos de decisão relativos a informações espaciais. Em Leitner (2013) são apresentadas diversas contribuições sobre o uso de geotecnologias para modelagem e mapeamento criminal. Também é enfatizado que a literatura pesquisada possui aplicações em SIG no campo da violência, incluindo identificação de padrões espaciais de crime (LEITNER, 2013), diversidade espacial de crimes (FRANK, ANDRESEN & FELSON, 2012), correlação espacial entre crimes e fatores sociais (MENEZES *et al.* 2013; SCORZAFAVE & SOARES, 2009) e simulação de modelos baseados em agente para padrões de crimes (MALLESON & BIRKIN, 2012).

Portanto, reporta-se o interesse na construção de modelos de decisão que busquem na visão SIG-AMD resultados promissores. A seguir, é apresentado o processo de construção do modelo para avaliar o nível de vulnerabilidade em termos da segurança pública. Em seguida, foi feita uma aplicação real utilizando dados vetoriais, para o caso de homicídios na cidade do Recife. Por fim, são apresentadas as discussões a partir dos resultados e, por fim, as conclusões do estudo.

4.1 Construção do modelo SIG-AMD para segurança pública

Para a construção do modelo, foi considerada a abordagem apresentada em De Almeida (2011). As etapas propostas por este autor são compostas em 12 fases e aqui foram adaptadas, conforme Figura 8, e seguem e detalhadas nas subseções seguintes.

Figura 8 - Fluxograma usado na construção do modelo –SIG-AMD



Fonte: Autor (2018)

O modelo considera o processo de aprendizagem de preferências baseado em regras de decisão para classificar novas alternativas. A integração SIG-AMD, utilizando a visualização dos mapas, é constituída em uma abordagem *loose-coupling*. A modelagem de preferências baseia-se em avaliações holísticas, realizadas por meio de exemplos de referência globais.

Para realizar a escolha dos exemplos de referência é usado o ambiente SIG, evitando assim o uso de tabelas de dados. Também, permite uma visualização de dados usando mapas garantindo a interpretação do resultado, como demonstrado em Jelokhani-Nniaraki & Malczewski (2014).

4.1.1 Levantamento dos dados e aspectos relevantes

De acordo com De Almeida (2011) a estruturação do modelo compreende os principais fatores que compõe a formulação do problema em estudo, sendo identificados atores do processo decisório (decisor, analista e especialista), os objetivos de decisão, os critérios de avaliação e alternativas, além da representação da realidade na qual o modelo se propõe a fazer.

No contexto da segurança pública urbana, são revelados vários fatores que ocasionam e disseminam a violência. No trabalho de Andresen (2014) são apresentadas a Teoria da atividade de rotina, Teoria geométrica do crime, Teoria da escolha racional, Teoria dos padrões de crime, Prevenção criminal e Criminologia ambiental. Estas teorias enfatizam que fatores sociais, econômicos, estruturais e geográficos que estão inseridos no ambiente social e contribuem para a violência urbana.

Em relação ao aspecto espacial, há uma convergência em relacionar a visão espacial e os fatores que interferem na disseminação da ausência de segurança. Portanto, a estrutura do modelo, no momento de sua construção, deverá tomar em consideração ambos os lados. Ou seja, a resolução do problema deverá ser consistente com a realidade do ambiente e dos fatores considerados. Na literatura, estudos diversos já se mostraram presentes (FRANK, ANDRESEN & FELSON, 2012; MENEZES *et al.* 2013; MALLESON & BIRKIN, 2012).

Entretanto, a intenção desta pesquisa é propor um modelo SIG-AMD no contexto de segurança pública. O objetivo é a classificação de alternativas que são vulneráveis em termos de segurança pública. Pretende-se também, obter informações de preferências, para gerar a recomendação final. Assim, o presente modelo considera as informações de um tomador de decisão e critérios que possuem associação com a disseminação da violência. Embora seja um assunto ainda em crescimento, estudos anteriores já expuseram a viabilidade do uso do SIG-AMD para avaliação em segurança pública (FIGUEIREDO, PEREIRA & MOTA, 2017; FIGUEIREDO & MOTA, 2016; FIGUEIREDO, MOTA & PEREIRA, 2016).

4.1.2 Modelagem de preferências e escolha do método

Essa etapa se refere em como serão absorvidas as informações de preferência do decisor e inseridas no modelo. A preocupação está em captar a percepção do decisor diante da situação estudada, transmitida por meio de informações inerentes a realidade do problema. Associados a isto, deve-se fazer a escolha do método que irá modelar essa estrutura de preferências e gerar uma solução para o problema em análise.

Na presente pesquisa, faz-se o uso de uma abordagem holística, em que o decisor agrega suas preferências com base em uma avaliação global. A visão integrada permite um processo que inclui a aprendizagem destas preferências para um conjunto de alternativas reais e viáveis. Outro ponto positivo se refere na captura de informações de preferência que é mais produtivo e eficaz na construção do modelo. Essa desagregação-agregação diz que as informações de preferência podem ser construídas através de um subconjunto de alternativas previamente conhecidas (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012). Então, um modelo de preferência é construído e em seguida aplicado para todas as alternativas (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012; LIU, LIAO & YANG, 2015). Na prática, são exemplos conhecidos e classificados pelo decisor e em seguida, após a construção do modelo, pode-se replicar a informação (LIU, LIAO & YANG, 2015). A vantagem desta replicação é permitir uma expansão do conhecimento para novas alternativas que não foram avaliadas pelo decisor.

Portanto, dentre as abordagens, será construído um modelo considerando o *Dominance-based Rough Set Approach* (DRSA), proposto por Greco, Matarazzo & Slowinski (2001, 2002). Sendo uma abordagem consolidada com lógica *fuzzy* (GRECO, MATARAZZO & SŁOWIŃSKI, 2008; HUANG *et al.* 2013), multiobjetivo (GRECO, MATARAZZO & SŁOWIŃSKI, 2010), regressão ordinal (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012) e decisão em grupo (CHAKHAR & SAAD, 2012; CHAKHAR *et al.* 2016; MARC & KEITH, 2012). Além disso, os resultados obtidos com o DRSA permitem classificar novas alternativas por meio de um processo de aprendizagem de novas preferências (SOBRIE, MOUSSEAU & PIRLOT, 2018).

É interessante notar que no capítulo anterior foi destacado que uma das grandes dificuldades consiste na agregação de preferências considerando espaços territoriais. O levantamento bibliométrico também apontou para os métodos aditivos como os mais utilizados no contexto SIG-AMD. As desvantagens em aplicar modelos que utilizam o

paradigma da agregação direta (métodos aditivos) é o esforço cognitivo despendido pelo decisor, exigindo parâmetros como pesos e constantes de escala, e que nem sempre são conhecidos previamente (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012; GRECO, MATARAZZO & SLOWINSKI, 2002). Isso pode tornar o processo desconfortável devido à hesitação de responder determinados questionamentos relativos a estes parâmetros. Este é o paradigma da agregação, cujo modelo de agregação é primeiro construído e então aplicado ao conjunto de alternativas para compreender as preferências do decisor (GRECO, SŁOWIŃSKI & ZIELNIEWICZ, 2012).

Diversas aplicações são observadas na literatura. Na manufatura industrial (HU *et al.* 2017; KUJAWINSKA *et al.* 2016), confiabilidade de sistemas (RAWAT *et al.* 2016; SAWICKI & ŻAK, 2009), segurança de dados (AHMED & ACHARJYA, 2015), customização de serviços (LONG *et al.* 2016; LIOU & TZENG, 2010), análise de risco financeiro (GRECO *et al.* 2009), controle de tráfico urbano (AUGERI, COZZO & GRECO, 2015) e química experimental (CINELLI *et al.* 2015). Portanto, seu uso se mostra prático e viável para casos reais, para problemas cotidianos da sociedade. A revisão do capítulo anterior, também mostrou a escassez deste tipo de método, reforçando a necessidade de explorar este tipo de metodologia. A seguir são apresentados os principais conceitos e notações da abordagem utilizada no modelo.

4.1.2.1 Notações do DRSA

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos do DRSA para o entendimento do problema.

Seja o conjunto de alternativas finito, discreto e diferente de vazio n , $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

Seja o conjunto finito, discreto e diferente de vazio de alternativas $A^* = \{a_1^*, \dots, a_k^*, \dots\}$ assumindo $A^* \subseteq A$, chamado de conjunto de exemplos de referência, onde o decisor expressa suas preferências para um determinado problema.

Também, seja a coleção finita e diferente de vazio do conjunto de critérios m , $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, em que cada alternativa é avaliada por um critério para todo $c_m(a_k^*) \forall a_k^* \in A$.

Então, dada duas alternativas a_1^* e $a_2^* \in A^*$, diz-se que $c_m(a_1^*) \succeq c_m(a_2^*)$ que significa que “ a_1^* é pelo menos tão bom em relação a a_2^* quando comparada em relação ao critério c_m ”. Isto é a relação de preferência fraca entre dois pares de alternativas (SŁOWIŃSKI, GRECO & MATARAZZO, 2012). Também, assume-se que este critério possui uma ordem de

preferência ordenada de dois tipos: critério do tipo “custo” (quanto menor o desempenho melhor) e critério “ganho” (quanto maior melhor).

Por simplicidade, o conjunto de C pode ser particionado, criando um subconjunto de classe de decisão $D = \{d\}$. Seja $Cl = \{Cl_t, t \in T\}$, com $T = \{1, \dots, j\}$, tal que $a_1^* \in A^*$ deve pertencer a uma, e somente uma classe $Cl_t \in Cl$. Cada classe é chamada de classe de decisão. Assumindo que todas as classes de decisão são ordenadas para quaisquer r e $s \in T$, tal que $r > s$, os exemplos de referência incluídos em Cl_r são preferíveis em relação aos exemplos de referência contidos em Cl_s .

O DRSA também introduziu o de conceito de aproximação de conjunto com respeito as classes de decisão. A união *superior* (Eq. 4.1) e união *inferior* (4.2) das classes de decisão é definida tal que:

$$Cl_t^{\geq} = \bigcup_{s \geq t} Cl_s \quad (4.1)$$

$$Cl_t^{\leq} = \bigcup_{s \leq t} Cl_s, t = 1, \dots, n \quad (4.2)$$

Então, $a_1^* \in Cl_t^{\geq}$ significa que “ a_1^* pertence a pelo menos à Cl_t ”, enquanto que $a_1^* \in Cl_t^{\leq}$ significa que “ a_1^* pertence a no máximo a Cl_t ”. Portanto $Cl_1^{\geq} = Cl_t^{\leq} = A, Cl_n^{\geq} = Cl_n$ e $Cl_1^{\leq} = Cl_1$. Ainda para $t = 2, \dots, n$ tem-se que $Cl_{t-1}^{\leq} = A - Cl_t^{\geq}$ e $Cl_t^{\geq} = A - Cl_{t-1}^{\leq}$.

Assumindo que cada exemplo de referência com relação a cada critério deve possuir uma relação estritamente monotônica em relação às classes de decisão, fica definida a relação de dominância (SŁOWIŃSKI, GRECO & MATARAZZO, 2012). Seja $P \subseteq C$ um novo subconjunto de critérios de condição; diz que a_1^* *domina* a_2^* no espaço de critérios (denotado por $a_1^* D_p a_2^*$ se $a_1^* \succeq a_2^* \forall c \in P$. Sem perda de generalidade, a dominância dos critérios é numérica e há uma ordenação tal que a preferência aumenta com o valor, portanto diz-se que $a_1^* D_p a_2^*$ é equivalente a $a_1^* \succcurlyeq a_2^* \forall c \in P, P \subseteq C$. Analogamente, esta definição se mantém para o espaço das classes de decisão (SŁOWIŃSKI, GRECO & MATARAZZO, 2012).

No DRSA, o conhecimento usado é explorado a partir da aproximação obtida pelas relações de dominância. Assim, cada exemplo de referência comparado com os demais possui a relação de objeto dominante (Eq. 4.3) e dominado (Eq. 4.4), com relação à P :

$$D_P^+(a_1^*) = \{a_2^* \in A^*: a_2^* D_P a_1^*\} \quad (4.3)$$

$$D_P^-(a_1^*) = \{a_2^* \in A^*: a_1^* D_P a_2^*\} \quad (4.4)$$

Finalmente, as uniões das aproximações superior e inferior das classes de decisão com respeito à P podem ser estabelecidas:

- (i) A aproximação P-superior $Cl_t^{\geq}: \bar{P}(Cl_t^{\geq}) = \{a_1^* \in A^*: D_P^-(a_1^*) \cap Cl_t^{\geq} \neq \emptyset\}$;

- (ii) A aproximação P-inferior Cl_t^{\geq} : $\underline{P}(Cl_t^{\geq}) = \{a_1^* \in A^*: D_P^+(a_1^*) \subseteq Cl_t^{\geq}\}$;
- (iii) A aproximação P-superior de Cl_t^{\leq} : $\bar{P}(Cl_t^{\leq}) = \{a_1^* \in A^*: D_P^+(a_1^*) \cap Cl_t^{\leq} \neq \emptyset\}$;
- (iv) A aproximação P-inferior de Cl_t^{\leq} : $\underline{P}(Cl_t^{\leq}) = \{a_1^* \in A^*: D_P^-(a_1^*) \subseteq Cl_t^{\leq}\}$.

Todas alternativas que são classificadas em Cl_t^{\geq} e Cl_t^{\leq} com ambiguidade constituem P -fronteira (P -região de dúvida) de Cl_t^{\geq} e Cl_t^{\leq} :

$$Bn_p(Cl_t^{\geq}) = \bar{P}(Cl_t^{\geq}) - \underline{P}(Cl_t^{\geq}) \quad (4.5)$$

$$Bn_p(Cl_t^{\leq}) = \bar{P}(Cl_t^{\leq}) - \underline{P}(Cl_t^{\leq}), t = \{1, \dots, n\} \quad (4.6)$$

A qualidade da aproximação de Cl_t^{\geq} e $Cl_t^{\leq} \forall t = \{1, \dots, n\}$ e para qualquer $P \subseteq C$ é expressa pela razão da cardinalidade da aproximação inferior e superior da união das classes de decisão. A qualidade desta classificação $\gamma_p(Cl)$ (Eq. 4.7) é definida pela taxa do número de P -corretamente exemplos classificados em relação ao número total de objetos:

$$\gamma_p(Cl) = \frac{|A^* - \cup_{t \in \{2, \dots, n\}} Bn_p(Cl_t^{\geq})|}{|A^*|} = \frac{|A^* - \cup_{t \in \{1, \dots, n-1\}} Bn_p(Cl_t^{\leq})|}{|A^*|} \quad (4.7)$$

Esta taxa expressa a proporção de todos os exemplos classificados corretamente. Todo subconjunto mínimo $P \subseteq C$, tal que $\gamma_p(Cl) = \gamma_c(Cl)$, é chamado de reduto de decisão C com respeito a Cl e é denotado por $RED_{Cl}(P)$. O conjunto de exemplos de referência pode ter mais de um reduto, a interseção dos redutos é chamada de núcleo, denotada por $CORE_{Cl}$.

Após construir as relações de preferência são necessárias a indução das regras de decisão que irão servir para classificar todas as demais alternativas. As regras, conforme a definição dos critérios e condição e critérios de decisão, também são divididas em duas partes. A parte condicional pode ser composta por um ou mais critérios e a parte da decisão menciona em qual classe de decisão as novas alternativas irão ser classificadas (CHAKHAR *et al.* 2016). Um algoritmo apresentado em Greco *et al.* (2001) foi usado neste estudo para induzir as regras de decisão. As regras podem ser expressas na seguinte forma:

$$\text{SE } f(a_i, c_1) \geq r_1 \wedge \dots \wedge f(a_i, c_m) \geq r_t \quad \text{ENTÃO } a_i \in Cl_t^{\geq} \quad \text{tal que } (r_1 \dots r_t) \in V_{c_1} \times \dots \times V_{c_m}$$

4.1.3 Resultados e recomendação

A última fase consiste na avaliação global das alternativas, considerando o conjunto de critérios definidos e a obtenção da recomendação final. Como este modelo, considera primeiramente um subconjunto de alternativas que representam as preferências do decisor, esta fase pode ser alterada conforme novos exemplos possam ser adicionados, retirados ou

uma reavaliação dos exemplos, tornando interativo e dinâmico. Em seguida, o DRSA é usado para obter os parâmetros relativos à qualidade dos exemplos e a regras de decisão que representam a estrutura de preferências do decisor.

Aplicar as regras para classificação das áreas é a fase final, em que as demais alternativas que não foram avaliadas no subconjunto de referências são alocadas em classes que mensuram o nível de vulnerabilidade em termos de segurança pública. Além de apresentar a recomendação final, também expõe se a classificação obtida corrobora com a estrutura de preferências do decisor representada pelos exemplos de referência.

Em síntese, primeiro deve-se escolher os exemplos de referência usando os mapas. Cada mapa é a representação numérica de desempenho representando cada critério (ou camada). Para cada camada está contido o conjunto de alternativas avaliadas por cada critério. O papel do decisor é selecionar algumas alternativas, que são previamente conhecidas, considerando todos estes critérios. A etapa posterior consiste em alocar as alternativas de referência em uma classe com uma ordem de preferência previamente definida. Este procedimento é desempenhado no ambiente SIG e em seguida exportado para a fase seguinte. A segunda parte da abordagem é construir as relações do modelo de preferência fornecido pelas avaliações do decisor.

4.2 Aplicação numérica

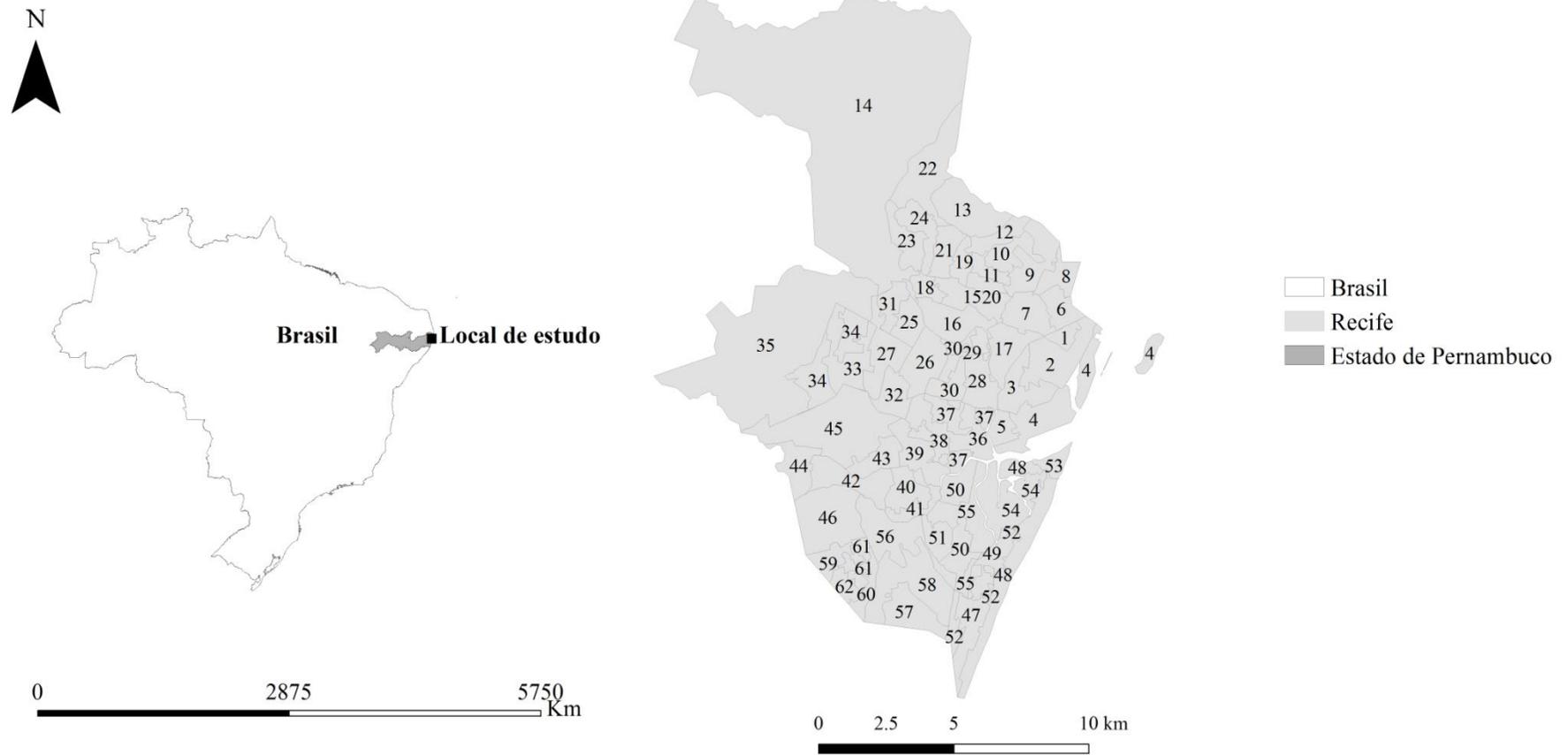
Nesta seção, serão apresentados os resultados da aplicação do modelo com dados reais. Uma análise posterior também é desempenhada, seguido pelas discussões dos resultados.

4.2.1 Resultado do modelo SIG-AMD

A aplicação foi realizada na cidade de Recife, capital do estado Pernambuco, segunda maior cidade da região nordeste do Brasil. O Governo do Estado de Pernambuco estabeleceu o Pacto pela Vida, programa de governo para redução da violência, que apresentou índices negativos com respeito a ações violentas (homicídios, tráfico de drogas, roubos e furtos), desde 2007 (RATTON, GALVÃO & FERNANDEZ, 2014; WOLFF, 2015). Entretanto, isto não significa que há uma situação de segurança na região. Por exemplo, Pereira, Mota & Andresen (2015) mostraram que os homicídios ocorridos na Região Metropolitana de Recife e no estado de Pernambuco entre os anos de 2000 e 2012 ainda são superiores que a média nacional. Portanto, a violência é algo crônico e novas ações que possam identificar os locais vulneráveis torna-se uma alternativa para mitigar o problema.

Todo território é constituído de diferentes tipos de divisões. Cada divisão pode apenas conter o limítrofe de regiões (como bairros), ou possuir informações relevantes como dados sociais e econômicos, garantindo uma representatividade do lugar. Também, possuem diferentes dimensões geográficas, como bairros e setores censitários. Para o caso desta aplicação foi usada a divisão chamada de Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH). Uma UDH é uma divisão territorial usada para agregar informações mais homogêneas relativas a dados sociais e econômicos de uma região metropolitana (<http://atlasbrasil.org.br/2013/>). No caso da cidade de Recife, há 62 unidades, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Local do estudo do SIG-AMD para segurança pública



Fonte: Autor (2018)

No que compreende o contexto da segurança pública e violência, sabe-se que há relações existentes com fatores sociais, econômicos e de infraestrutura. Reforça-se que deve haver a dissociação entre crimes contra a vida e contra o patrimônio (roubo e furtos) (LOCHNER & MORETTI, 2004; LIU *et al.* 2015; GORR, OLLIGSCHLAEGER & THOMPSON, 2003; BROWNING *et al.* 2010). No caso desta aplicação, foram considerados fatores que estão relacionados com a ocorrência de crimes do tipo homicídios (latrocínio, assassinatos, etc.). Autores como Andresen (2013) e Levitt (2001) discorrem sobre como o desemprego e baixa renda financeira afetam a ocorrência. Por exemplo, o desemprego e as condições precárias de moradia e infraestrutura urbana criam “maiores chances” de levar um indivíduo a cometer algum tipo de delito. Por outro lado, Fajnzylber, Lederman & Loayza (2002) e Frank, Andresen & Felson (2012) sentenciam que fatores sociais, econômicos, densidade demográfica e ambiente influenciam a ocorrência maior ou menor da violência.

A crítica que surge é a ausência da participação de alguém ou um grupo de pessoas que possa emitir uma opinião em relação ao nível de segurança de um determinado local para avaliar a vulnerabilidade ou alocação de recursos em segurança pública. Por outro lado, Gurgel & Mota (2013); Figueiredo, Mota & Pereira (2015); Camacho-collados, Liberatore & Angulo (2015) mostram que captar as informações de preferência para atuar com ações de segurança pública é viável do ponto de vista estratégico em políticas públicas. Consequentemente, o presente trabalho reforça a ideia de que o decisor pode inserir suas preferências quanto à avaliação de uma região.

Considerando estes expostos, foram levantados critérios que podem ser usados para avaliar o nível de segurança de uma cidade, no caso Recife. São critérios relacionados com crimes do tipo de homicídio, como já mencionado. No total, foram agregados cinco critérios obtidos a partir do Atlas de Desenvolvimento Humano (2005) de Recife, detalhados a seguir e os dados descritivos observados na Tabela 14.

- Renda *per capita* (R\$): distribuição da renda por total da população;
- Índice de Gini: serve para quantificar o nível de desigualdade em uma sociedade;
- Infraestrutura (banheiro e água encanada) (%): permite identificar a infraestrutura de uma residência. Na literatura, este tipo de indicador está associado com a violência urbana;
- Educação (anos): nível de escolaridade de indivíduos;

- Densidade demográfica/km²: distribuição da população por quilometro quadrado.

Tabela 14 - Dados descritivos dos critérios usados no modelo SIG-AMD

Critério	Valor máximo	Valor mínimo	Média	Desvio-padrão	Tipo de preferência	Descrição
Renda <i>per capita</i> (R\$)	1.863,64	86,15	378,66	400,00	Ganho	Menor a renda, maiores as chances de haver ocorrência de crimes
Índice de Gini	0,72	0,40	0,52	0,05	Custo	Mede a distribuição de renda em um espaço geográfico; quanto menor o valor, então haverá distribuição igual de renda
Infraestrutura (banheiro e água encanada) (%)	9,59	48,53	83,57	12,40	Ganho	Condições precárias tornam o local/região mais atrativo para a violência
Educação (anos)	13,00	4,00	7,36	2,36	Ganho	Maior tempo e estudo diminui as chances de pessoa se envolver no mundo da criminalidade
Densidade demográfica/km ²	28.422,00	355	12.390,00	6.617,00	Custo	O aumento da população garante um ambiente mais propício para se evadir ao cometer o crime.

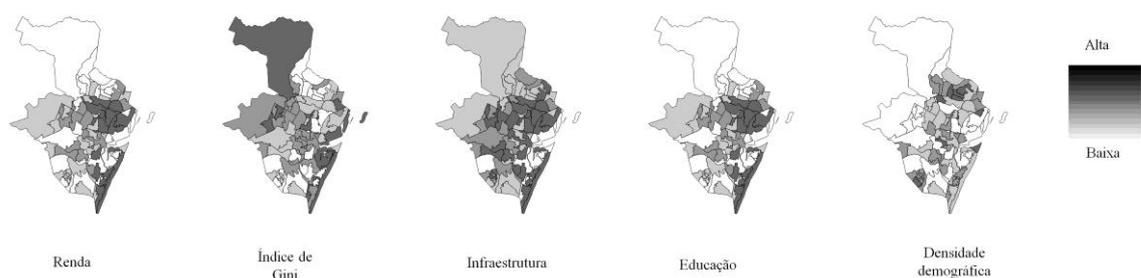
Fonte: Autor (2018)

A abordagem multicritério tem como um dos grandes desafios, permitir ao decisor expressar suas preferências de forma clara e coerente. Entretanto, saber a contribuição de preferências para cada critério, originadas do decisor, ainda é um desafio. Provavelmente, avaliar os pesos ainda é um assunto de alta relevância neste contexto (de ALMEIDA *et al.* 2016). Portanto, por esta aplicação ser nova, optou-se por uma abordagem com visão holística, permitindo manter a igualdade de importância entre os critérios, como o DRSA propõe em sua estrutura de formulação. Assim, as expressões de importância e preferência se deram nas classes de decisão e, no caso desta pesquisa, refletem o nível de segurança no qual estão associadas.

Considerando a estrutura de critérios, foram definidas cinco classes de decisão para a seguinte estrutura de preferência: $Cl_{\text{Muito_alto}} > Cl_{\text{Alto}} > Cl_{\text{Moderado}} > Cl_{\text{Baixo}} > Cl_{\text{Muito_baixo}}$. Então, uma alternativa classificada em $Cl_{\text{Muito_alto}}$ possui os melhores desempenhos em relação aos critérios e, portanto, as chances de ocorrências de incidentes violentos são menores. Por outro lado, alternativas em $Cl_{\text{Muito_baixo}}$ são regiões classificadas com baixo nível de segurança pública, apresentando um nível de mínimo de desempenho em relação aos critérios. A partir destas definições, as classes 2, 3 e 4 são alteradas conforme o desempenho dos critérios vai mudando para cada alternativa.

Na fase inicial do modelo as informações de preferência são exploradas no mapa, permitindo ao agente de decisão escolher os exemplos de referência na cidade de Recife. Para a escolha dos exemplos é assumido que existe o conhecimento prévio, permitindo identificar como uma área vulnerável ou não. Então, o desempenho das alternativas em relação a cada critério pode ser acessado visualmente, deixando o decisor mais confortável para fazer suas escolhas pessoais. A Figura 10 apresenta as alternativas avaliadas por cada critério. Os desempenhos numéricos foram agrupados no ArcGis®, usando a função *Natural breaks* (ESRI, 2017). Posteriormente, os dados foram exportados em formato “.txt”. A tabela de decisão contendo os exemplos de referência é definida como cada linha com os exemplos de referência e as colunas representando os critérios de condição e decisão. A classe de decisão é sempre apresentada na última coluna. A Tabela 15 lista os exemplos de referência que foram usados.

Figura 10 - Desempenho dos critérios para a aplicação SIG-AMD



Fonte: Autor (2018)

Tabela 15 - Exemplos de referência usados no modelo SIG-AMD

HDU	Renda	Índice de Gini	Infraestrutura	Educação	Densidade demográfica	Classe de decisão
16	1.353,42	0,5	94,74	11,73	6.436	1
19	126	0,47	75	5,51	23.956	1
21	141,47	0,45	78,81	5,97	18.506	1
15	902,38	0,52	97,31	10,58	10.888	2
20	158	0,47	78	6,12	28.220	2
7	893,13	0,5	94,45	11,09	8.796	3
35	187,1	0,55	78,24	6,55	1516	3
45	143	0,5	89	5,52	1.930	3
2	616	0,5	98	10,27	3.927	4
3	868,6	0,5	99	11,2	6.577	4
48	1.864,00	0,61	96	11,77	9.887	4
4	169	0,6	67	5,64	1.893	5
50	571	0,47	95	10,09	6.739	5

Fonte: Autor (2018)

Após estabelecer todos os parâmetros de *input* do DRSA, o método pode ser aplicado a partir dos dados contidos na Tabela 15. Com a obtenção dos resultados, é importante avaliar a qualidade obtida com os exemplos usados. Considerando as definições da Subseção 4.1.2.1, a qualidade da aproximação foi igual a 1 para as aproximações Cl_t^{\geq} e Cl_t^{\leq} para todas as classes de decisão. A qualidade de classificação também foi igual a 1. Consequentemente, os exemplos de referência são adequados para obter informações precisas e possuem grande utilidade para serem usadas na classificação das demais alternativas. Ou seja, não há inconsistências nas avaliações.

Os resultados também revelaram dois redutos: RED_{Cl} (Índice de Gini, Infraestrutura, Densidade demográfica e Educação); RED_{Cl} (Índice de Gini, Infraestrutura e Densidade demográfica). Então, há um $CORE_{Cl}$ representado pelos seguintes critérios: Índice de Gini, Infraestrutura e Densidade demográfica. Estes três critérios são adequados para explicar as decisões com a mesma precisão de todos os critérios, de acordo com a estrutura proposta pelo método DRSA.

A fase seguinte consiste em usar o sistema jMAF para criar as regras de decisão pelo algoritmo DOMLEM. Com o uso do algoritmo foram obtidas 17 regras determinísticas do tipo *certain*. Este tipo de regra são assim chamadas, pois possuem a informação precisa para classificar as alternativas, sem criar regiões de incerteza (GRECO *et al.* 2001). São regras originas a partir da aproximação *P*-inferior de $\underline{P}(Cl_t^{\geq})$ e $\underline{P}(Cl_t^{\leq})$ da união das classes. As

regras de decisão foram usadas para classificar todas as demais alternativas do problema e seguem descritas na Tabela 16.

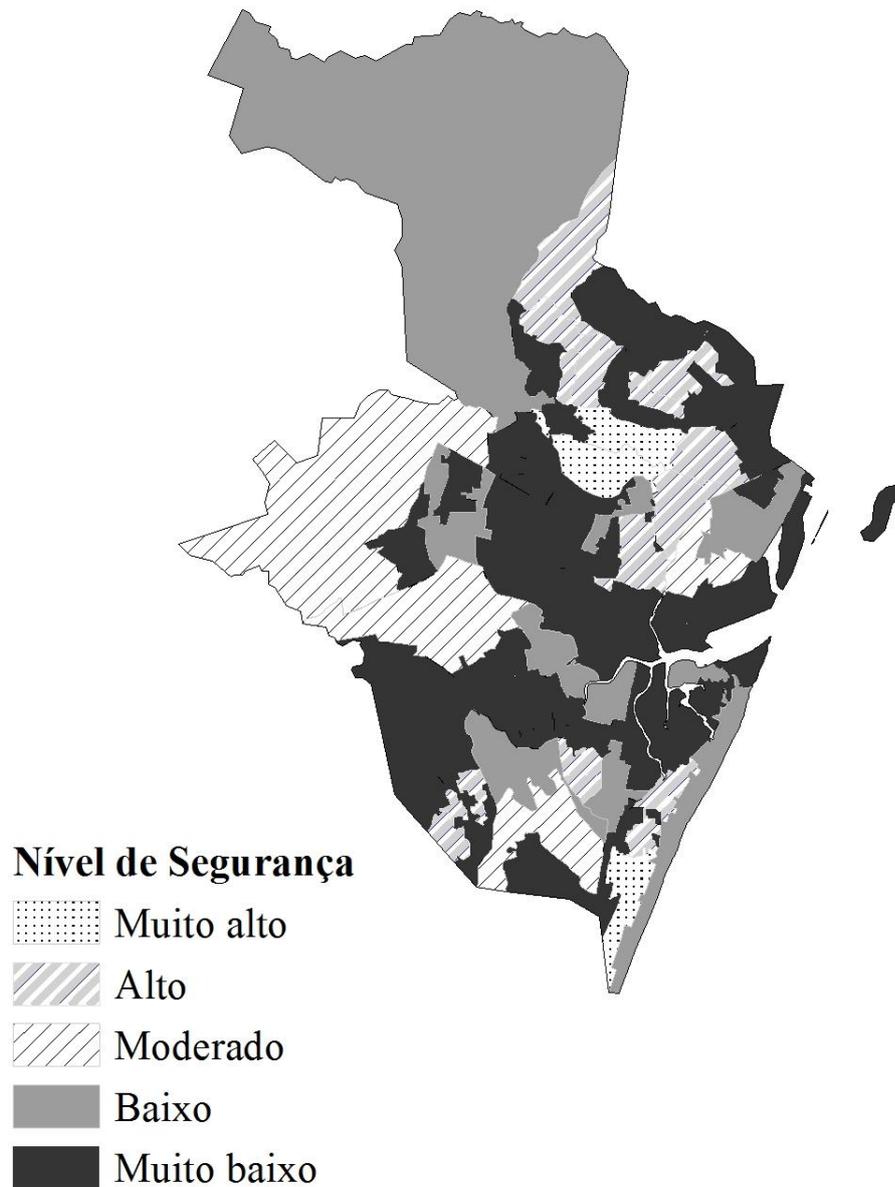
Tabela 16 - Descrição das regras de decisão obtidas pelo DRSA

ID da Regra	Descrição da regra	Classe de decisão	Nº de alternativas de referência suportando a classe
Regra 1	SE (gini \leq 0,47) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Muito alto	2
Regra 2	SE (inc \geq 1.353,42) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Muito alto	1
Regra 3	SE (gini \leq 0,47) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Alto	3
Regra 4	SE (inc \geq 902,38) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Alto	2
Regra 5	SE (inc \geq 893,13) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Moderado	3
Regra 6	SE (demog \leq 1516) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Moderado	1
Regra 7	SE (gini \leq 0,50) & (demog \leq 1.930) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Moderado	1
Regra 8	SE (edu \geq 10,27) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Baixo	6
Regra 9	SE (infr \geq 89) & (demog \leq 1.930) ENTÃO	<i>Pelo menos</i> Baixo	1
Regra 10	SE (infr \leq 67) ENTÃO	<i>No máximo</i> Muito baixo	1
Regra 11	SE (gini \geq 0,47) & (demog \geq 6.739) & (edu \leq 10,09) ENTÃO	<i>No máximo</i> Muito baixo	1
Regra 12	SE (gini \geq 0,60) ENTÃO	<i>No máximo</i> Baixo	2
Regra 13	SE (gini \geq 0,50) & (inc \leq 868,6) & (demog \geq 3.927) ENTÃO	<i>No máximo</i> Baixo	3
Regra 14	SE (gini \geq 0,47) & (inc \leq 571,00) & (demog \geq 6.739) ENTÃO	<i>No máximo</i> Baixo	2
Regra 15	SE (gini \geq 0,47) & (inc \leq 893,13) ENTÃO	<i>No máximo</i> Moderado	8
Regra 16	SE (gini \geq 0,50) ENTÃO	<i>No máximo</i> Alto	6
Regra 17	SE (demog \geq 28.220) ENTÃO	<i>No máximo</i> Alto	1

Fonte: Autor (2018)

Dada às regras de decisão, as demais alternativas compostas pelas UDH's e que não estavam contidas na Tabela 15 foram classificadas. O resultado é apresentado na forma de mapa, onde as alternativas mais escuras são as que mais necessitam de atenção com respeito a segurança pública. Ou seja, possuem níveis de segurança pública baixos. A Figura 11 apresenta os resultados com a classificação SIG-AMD, usando método multicritério DRSA.

Figura 11 - Resultado da classificação SIG-AMD



Fonte: Autor (2018)

Com base nestes resultados seguem as seguintes conclusões verificadas:

- A UDH 52 foi classificada em *No máximo* Muito baixo com relação ao nível de segurança. Portanto, é considerada como uma região insegura, apresentando boas chances de ocorrência de crimes violentos. Esta UDH foi classificada conforme seus desempenhos que são atendidos pela Regra 10 e Regra 11. O Índice de Gini para esta alternativa é de 0,72, demonstrando uma desigualdade social elevada entre os moradores da região;

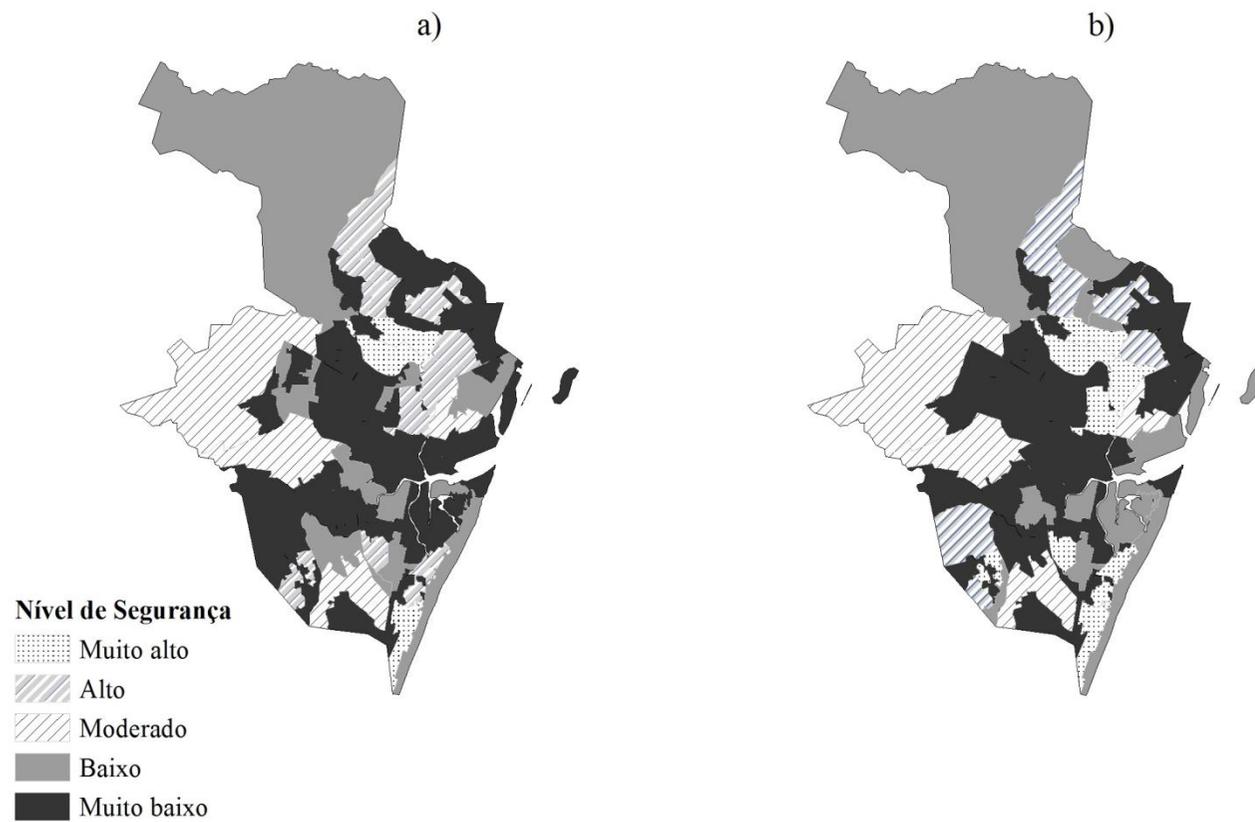
- As alternativas 10 e 11 estão circundadas por alternativas que foram classificadas com nível de segurança baixo. Isto ajuda a explicar como eventos criminais se disseminam no espaço significando que um local pode apresentar boas características que asseguram um nível de alto de segurança. Entretanto, a vizinhança não apresenta os mesmos índices, provocando a migração da violência;
- A adequação de regras pelas alternativas permite que haja heterogeneidade de classificação. Regiões que fazem fronteiras podem ter classificações distintas. Isso ressalta que a divisão aqui adotada se mantém consistente em relação às informações realizadas como entrada. Então, baixos desempenhos dos critérios irão classificar com baixos níveis de segurança.

4.2.2 Discussão

Como efeito de discussão dos achados da aplicação, serão consideradas mudanças nos parâmetros de entrada, no caso os exemplos de referência, e que servem para enriquecer a discussão do trabalho. Cada alternativa é descrita em termos das regras de decisão. As regras, por sua vez, propõem a representação das informações e a classificação das mesmas. Então, algumas regras de decisão foram trocadas para testar a sensibilidade dos resultados. Foram mantidos um número igual de exemplos de referência. As mudanças foram a troca dos exemplos, com o mesmo número de classes. Assim, pode-se observar o impacto destas mudanças.

Com o uso de novas regras, seguem mudanças ilustrativas. A UDH 33 foi classificada como Cl_{Baixa} , como observado na Figura 11, tomando como base as regras 8, 12 e 13. Com as novas regras, esta UDH passou para a classe Cl_{Muito_baixo} . Ou seja, novas regras induzem para o Nível de segurança mais crítico. No caso da HDU 17 e 28, ambas passaram da classe Cl_{Alto} para Cl_{Muito_alto} . A mudança nos exemplos possibilita alocar as alternativas em novas classes, porém sem causar mudanças extremas, como sair de uma classe totalmente insegura para uma nova que é considerada com bons níveis de segurança. A Figura 12 mostra o comparativo dos resultados antigo, com os novos diante as mudanças realizadas.

Figura 12 - Resultado comparativo usando outros exemplos de referência. a) Primeiro resultado e b) segundo resultado



Fonte: Autor (2018)

Com base neste comparativo de resultados outras discussões podem ser feitas. No segundo resultado, surgiu apenas um reduto e, portanto, um único $CORE_{Cl}$ (Índice de Gini, Infraestrutura e Densidade demográfica). O número de regras de decisão passou para 15, mas a qualidade da aproximação e da classificação se mantiveram em 1. Portanto, os exemplos se mantêm estáveis e adequados para explicar todas às demais alternativas a serem classificadas. Também as regras podem passar por alterações, como: SE (gini ≥ 0.47) & (inc ≤ 893.13) ENTÃO *No máximo Moderado* passou para SE (renda $\geq 893,13$) & (densi ≤ 1516) ENTÃO *No máximo Moderado*.

Sob o ponto de vista da aplicação do problema em segurança pública com o SIG-AMD, cabem as discussões relevantes. Em situações de decisão em AMD, que são feitos o uso de exemplos de referência, já são disseminados em outros estudos (GRECO, MATARAZZO & SLOWINSKI, 2002; ZIFU, HONG & LIHUA, 2015; PEREIRA & MOTA, 2016; ZOPOUNIDIS & DOUMPOS, 2002). A abordagem que permite essa escolha com informações previamente conhecidas garante ao decisor maior segurança no momento de expressar suas preferências. O argumento é que não é necessário elicitare parâmetros de constantes de escala e nem limiares de preferência. No caso desta aplicação, também são excluídas tabelas que serviriam para a escolha, o que poderia causar desconforto visual.

Os resultados aqui alcançados, também servem de auxílio para a proposição de novas estratégias que servir de auxílio em políticas de segurança pública. No caso de planejadores ou membros envolvidos em planos de ação, ou podem utilizar do aumento do efetivo policial ou implantação de novas ações públicas, que possam melhorar a eficiência da região (especificamente no caso das UDH's). A ação tática e operacional de policiamento causa a inibição imediata da violência, porém momentânea. A atuação em políticas de ações pode ser bem mais eficiente, mesmo que consideradas ao longo prazo. Por exemplo, foco na construção de novas escolas, facilitando o acesso à educação, ou melhorando a estrutura como fornecimento de sistemas de esgoto e iluminação urbana.

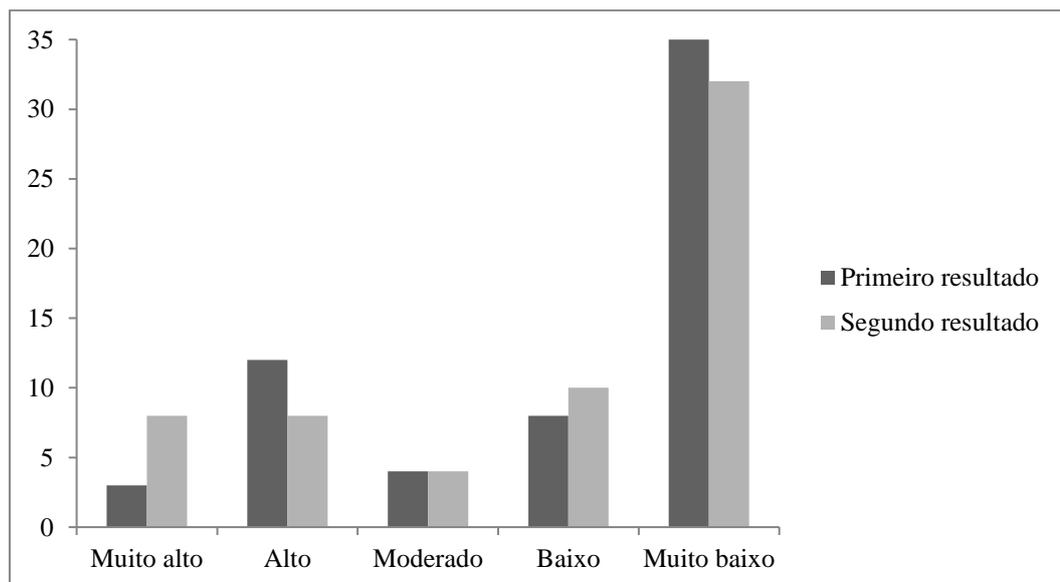
A vantagem de usar critérios que são indicadores sociais e econômicos permite que estes possam ser agregados para discriminar o nível de segurança pública. Uma vez que esta discriminação é feita, também pode ser observada individualmente. As alternativas que foram alocadas em classe Cl_{Baixo} tem em média o tempo de educação de 6,47 anos e 6,97 anos, para o primeiro e segundo resultado, respectivamente. Para o caso das UDH's classificadas em Cl_{Alto} e Cl_{Muito_alto} a média do tempo de educação salta para 8,63 anos, observadas em

conjunto. Portanto, locais com baixo nível de segurança, também apresentam baixos índices de tempo de educação.

Esta mesma situação também foi verificada nos critérios Índice de Gini, Renda e Infraestrutura. As UDH's com baixo nível de segurança também apresentam valores com baixos desempenhos com relação aos critérios para todas as alternativas de decisão, como apresentando na Tabela 14. O outro ponto de interesse é sobre o Índice de Gini. As alternativas alocadas em $Cl_{\text{Muito_baixo}}$, apresentaram média de 0,54. Portanto, existe uma contribuição individual, deste critério, mostrando como a partir deste valor já existe um nível de desigualdade se acentuando.

O próximo ponto de discussão é o quanto as mudanças dos exemplos de referência podem afetar os resultados. O decisor pode se interessar em saber o quanto as informações de preferências, uma vez alteradas, mudam a distribuição dos resultados em torno das classes. Quando o DRSA é aplicado, uma UDH vai para uma classe de decisão, e pode mudar de classe ou não, quando novas regras forem criadas. Então, estas mudanças podem ser observadas e usadas no contexto da segurança pública. Uma alternativa que passa a ser mais segura talvez não necessite de atenção imediata. Todavia, uma alternativa que mude de classe, para uma pior, pode precisar de recursos imediatamente, para manter o lugar seguro. Portanto, estas comparações são interessantes partindo deste ponto de vista e seguem na Figura 13.

Figura 13 - Distribuição das alternativas entre as classes de decisão



Fonte: Autor (2018)

Considerando também o segundo resultado, duas conclusões se fazem presentes. Na opinião do decisor pode haver o interesse em mudar o conjunto de exemplos de referência para aplicação do DRSA. Analisando a dinâmica da construção de preferências, pode haver essa mudança, no sentido de observar novos resultados. Mesmo sendo um modelo de agregação indireta, pode haver a não concordância das regras de decisão com a estrutura de preferências do mesmo. O segundo caso, é quando ocorre a participação de mais de um decisor. Assim novas regras serão usadas para melhorar o processo de aprendizagem para novas alternativas.

4.3 Considerações do capítulo

O presente capítulo apresentou o modelo de preferência para classificar alternativas, considerando o nível de segurança pública. Dentre as contribuições do modelo, deve-se ressaltar a exigência dos parâmetros do modelo fazendo uso do conhecimento de um subconjunto de alternativas viáveis de serem avaliadas holisticamente, possibilidade de classificar novas alternativas e representação das regras de decisão pelo modelo de preferência.

Em relação a praticidade do modelo, destaca-se que houve a identificação dos locais mais vulneráveis, com relação aos crimes do tipo homicídios. Embora, o modelo tenha se preocupado com este tipo de crime, há o interesse futuro em aplicar para outros tipos de crimes (furtos e crimes contra o patrimônio, por exemplo). Por fim, reporta-se a contribuição em utilizar os resultados como apoio as políticas de segurança pública.

5 MODELO SIG-AMD INTERATIVO PARA AVALIAR NÍVEL DE VULNERABILIDADE

A violência urbana é dividida em espaços geográficos com concentrações que ocorrem em pequenos lugares, sendo mais interessante nos estudos sobre criminologia (MALLESON & BIRKIN, 2012). Neste contexto, a literatura reforça que o uso de fatores como densidade demográfica, grau de escolaridade, dados econômicos, residências com infraestrutura têm relação com a violência (PEREIRA, MOTA & ANDRESEN, 2015; WANG *et al.* 2013). Entretanto, o uso de critérios que são agregados usando um modelo de decisão, também pode ser associado com a aprendizagem de preferências, possibilitando resultados mais representativos.

Neste capítulo, propõe-se um modelo de decisão usando o DRSA para aprendizagem de múltiplas preferências interativa. A motivação para a proposta do modelo interativo em segurança pública se dá pela necessidade de avaliar um problema em que as decisões não cabem a único indivíduo. Além disso, existe uma necessidade de aprendizagem evolutiva sobre as preferências de quem está participando do problema. Após a construção do modelo, uma aplicação foi realizada considerando a relação com os homicídios.

A construção do modelo seguiu as etapas apresentadas por De Almeida (2011), apresentadas no capítulo anterior. O modelo SIG-AMD interativo pode ser considerado uma extensão do modelo anterior, e inclui a participação de mais de um Decisor no processo de aprendizagem de preferências. A abordagem é adequada a situações de baixo conflito entre os decisores, refinando o processo de aprendizagem de preferências.

5.1 Contextualização em modelos com aprendizagem de preferências

A Aprendizagem de Preferências (AP) é um campo que emergiu da Inteligência Artificial (IA) e se incorporou em modelos de decisão multicritério (MOUSSEAU & PIRLOT 2015; DEMBCZYNSKI *et al.* 2010; ZOPOUNIDIS & DOUMPOS, 2002) Para Szeląg, Greco & Słowiński (2014) a AP tem uma grande diferença em relação a IA e os modelos ADM, e que consiste na maneira pela qual o modelo de preferências do decisor é construído. Estes mesmos autores afirmam que existe um tratamento de dados estatísticos (exemplos de treinamento) para modelos de preferências em IA, e em ADM, as informações de preferências são elicitadas por um decisor, muito frequentemente ocorrendo de forma interativa. O tema tem se destacado com estudos a partir de 2008, como revelam Mousseau & Pirlot (2015).

Estruturar um problema que envolve a construção evolutiva da aprendizagem de preferências requer várias observações importantes. Segundo Sobrie, Mousseau & Pirlot, (2018), os métodos associados com a AP empregam tratamento holístico ou usando exemplos de referência para o modelo de preferência. Para Erişkin & Köksal (2016) o processo de construção e aprendizagem pode surgir por questionamentos feitos ao decisor. Szeląg, Greco & Słowiński (2014) discutem como vantagem de construir preferências interativas por meio de decisão multicritério e dar ao decisor a visibilidade durante as fases de construção do modelo. Esta característica se sobrepõe quando um método como Redes Neurais Artificiais é utilizado para “aprender” com as preferências, pois pode gerar um *black box* do processo, causando dúvidas ao decisor (SZELAĞ, GRECO & SŁOWIŃSKI, 2014). Por fim, Sobrie, Mousseau & Pirlot, (2018) afirmam que o DRSA foi um dos primeiros métodos multicritério a incorporar a aprendizagem de preferências, embora ainda não haja esta visão para o tratamento de grandes conjuntos de dados.

Como mencionado no Capítulo 4, o DRSA tem sido aplicado em vários campos de pesquisa, e com várias vertentes com base na sua estrutura de formulação. Também, existe essa preocupação na qual o DRSA se dispõe a “aprender” com os exemplos de referência (SALEH *et al.* 2017; HU *et al.* 2017; AUGERI, COZZO & GRECO 2015; SZELAĞ, GRECO & SŁOWIŃSKI, 2014). Entretanto, ainda carece de estudos que visem inserir o processo de AP envolvendo o conhecimento coletivo para fornecer informações para construção do modelo de preferências. Para garantir esta ausência na literatura, foi explorada a base de dados ISI perfazendo uma busca com os dois termos em conjunto: “*Dominance-based rough set*” e “*Preference learning*”. Houve um retorno de quatro títulos contendo os dois termos.

Por outro lado, o uso do DRSA para processos de decisão em grupo já se encontra consolidado. Desde 2006 abordagens procuram tratar o processo decisório com vários participantes (GRECO, MATARAZZO & SŁOWIŃSKI, 2006). Estas abordagens focam no processo de agregações das preferências dos decisores, mantendo a representatividade do coletivo. Greco, Matarazzo & Słowiński (2006) propõe uma “mega união” das classes aproximadas, e Greco, Matarazzo & Słowiński (2011) cria um nível de acordo entre as classificações nos exemplos de referência de cada decisor. Em Chen, Kilgour & Hipel (2012) as regras de decisão individuais são tratadas pela Teoria de Dempster-Shafer. Yang *et al.* (2017) usaram o DRSA para tratamento dos “pesos” do decisores em avaliação em grupo.

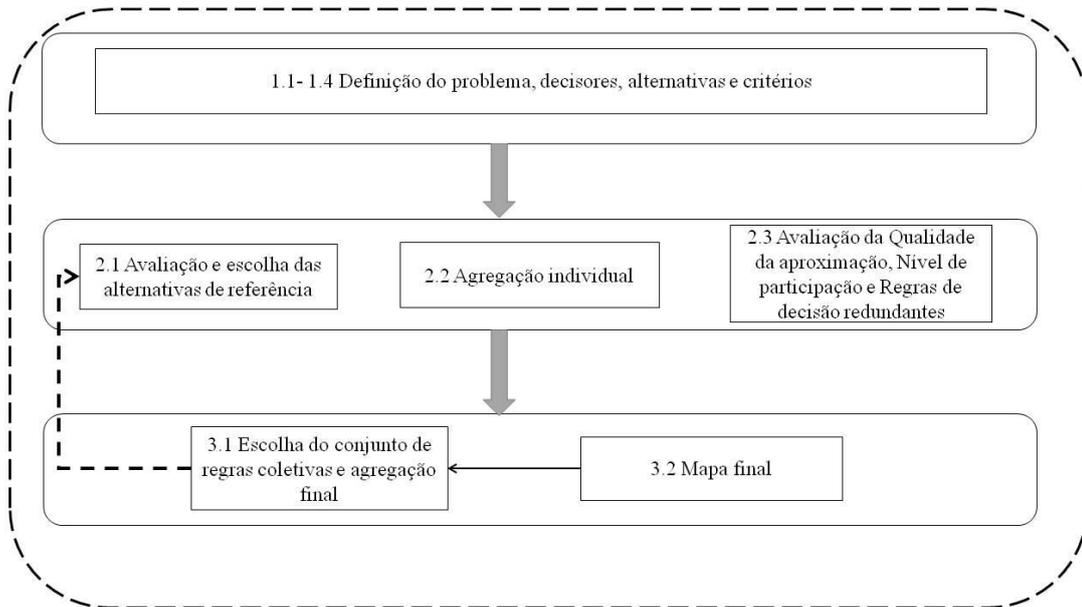
Além disso, também foram observados estudos que visam mitigar o problema do conflito entre decisores (SUN & MA, 2015; BOUZAYANE & SAAD, 2014). Finalmente, os estudos de Chakhar & Saad, (2012); Chakhar *et al.* (2016) contribuíram para avaliar o uso de regras de decisão coletivas, usando indicadores de maioria e veto para mensurar o uso das regras de decisão de cada decisor. Entretanto, não existe o foco no processo de aprendizagem interativa nestes estudos por isso, o interesse em expandir o conhecimento sobre as regras de decisão como um processo de aprendizagem contínuo.

5.2 Modelo de interatividade de preferências

Nesta seção será apresentado o modelo de aprendizagem de preferências interativas. O modelo foi desenvolvido para absorver novas preferências e incluir visões de mais de um decisor. Embora seja um modelo para agregar múltiplas preferências, é assumido que não há graus de conflitos que necessitem de tratamento para obter os resultados. Também, o modelo utiliza abordagem *output*, ou seja, resultados individuais são gerados e depois as preferências coletivas são agregadas (CHAKHAR *et al.* 2016). A seguir são fornecidas as fases que compõe o modelo.

O procedimento foi desenvolvido, conforme Figura 14. Cada decisor escolhe o seu conjunto pessoal de alternativas de referências para obter seus próprios resultados. Em seguida, o DRSA é usado para agregar as informações de preferência individuais. Posteriormente, as definições são usadas para agregar as regras (E^{DMj}) de cada decisor e gerar a recomendação final. Optou-se por não agregar as informações de preferência pelo modelo de entrada, devido à ocorrência de possíveis inconsistências em função do princípio da dominância. A outra razão consiste no fato de que a agregação pela entrada inviabiliza que cada decisor observe seus próprios resultados. Além disso, o procedimento pode ser realizado quando há a dificuldade em manter todos os decisores no mesmo lugar e no mesmo momento. As quatro primeiras etapas, foram suprimidas por serem iguais ao do modelo anterior. As subseções seguintes apresentam as fases de agregação e interação de preferências.

Figura 14 - Fluxograma do modelo SIG-AMD para múltiplos decisores



Fonte: Autor (2018)

5.2.1 Levantamento das preferências individuais

Nesta subseção são apresentados os conceitos para obter as preferências individuais. Cada participante escolhe o seu próprio conjunto de exemplos de referência.

Sendo a informação de preferência representada em tupla de informação, $S = \{A^*, Q, V, f\}$, onde A^* é o conjunto finito de exemplos de referência, Q é o conjunto de atributos, tal que V_q é domínio do critério Q , e $V = \bigcup_{q \in Q} V_q$, e $f: A^* \times Q \rightarrow V$ é a função total tal que $f(a_i^*, q) \in V_q$ para cada atributo q e $a_i^* \in A^*$. O conjunto Q é dividido em *critérios de condição* $C \neq \emptyset$ e *critérios de decisão* $D \neq \emptyset$, tal que $C \cup D = Q$ e $C \cap D = \emptyset$. Ainda, A^* é composto por micro espaços com $A^* \subseteq A$ e A é o conjunto de regiões (representada por polígonos). Assumindo que $D = \{d\}$ é único, e este atributo faz uma partição em S para criar um número finito de classes de decisão ordenadas por preferência, tal que $Cl = \{Cl_t, t \in T\}$, tal que $a^* \in A^*$ pertence a uma, e somente uma classe de decisão. As classes de decisão Cl têm ordem de preferência crescente: para todo $r, s \in T \times T$, tal que $r > s$, os exemplos de referência são atribuídos em Cl_r , são preferidos do que os exemplos atribuídos em Cl_s .

Seja, $DM = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_j\}$ o conjunto de decisores aptos a avaliar os exemplos de referência com relação aos critérios de condição e decisão. Assim, as novas notações são usadas:

$a_{i,j}^* \in A_{i,j}^*$: i -ésima alternativa avaliada pelo j -ésimo decisor;

$f(a_{i,j}^*, q) \in V_q$: função de avaliação das alternativas para o conjunto de atributos Q ;

$f(a_{i,j}^*, c_m)$: função avaliação das alternativas para o conjunto de critérios C ;

$a_{i,j}^* \in Cl_{t,j}$: i -ésima alternativa de decisão, avaliada pelo j -ésimo decisor e alocada em uma classe tal que $t = 1, \dots, n$.

Então, uma super-tabela de decisão é formada contendo as avaliações de cada decisor para um conjunto de alternativas e critérios:

$$\begin{array}{cccccc}
 f(a_{1,1}^*, c_1) & f(a_{1,1}^*, c_2) & \dots & f(a_{1,1}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,1} \\
 f(a_{2,1}^*, c_1) & f(a_{2,1}^*, c_2) & \dots & f(a_{2,1}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,1} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(a_{i,1}^*, c_1) & f(a_{i,1}^*, c_2) & \dots & f(a_{i,1}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,1} \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(a_{1,2}^*, c_1) & f(a_{1,2}^*, c_2) & \dots & f(a_{1,2}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,2} \\
 f(a_{2,2}^*, c_1) & f(a_{2,2}^*, c_2) & \dots & f(a_{2,2}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(a_{i,2}^*, c_1) & f(a_{i,2}^*, c_2) & \dots & f(a_{i,2}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,2} \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(a_{1,j}^*, c_1) & f(a_{1,j}^*, c_2) & \dots & f(a_{1,j}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,j} \\
 f(a_{2,j}^*, c_1) & f(a_{2,j}^*, c_2) & \dots & f(a_{2,j}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,j} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(a_{i,j}^*, c_1) & f(a_{i,j}^*, c_2) & \dots & f(a_{i,j}^*, c_m) & \dots & Cl_{t,j}
 \end{array}$$

Então, os conjuntos são aproximados tal que as uniões de classe superior (Eq. 5.1) e inferior (Eq. 5.2) para cada decisor passam a ser:

$$Cl_{t,j}^{\geq} = \bigcup_{s \geq t} Cl_{s,j} \quad (5.1)$$

$$Cl_{t,j}^{\leq} = \bigcup_{s \leq t} Cl_{s,j} \quad t = 1, \dots, n \quad (5.2)$$

Relação de dominância: Seja $P \subseteq C$ um subconjunto de critérios. A relação de dominância $D_{p,j}$ associada em P é definida para cada par de alternativas de referência $a_{1,j}^*$ e $a_{2,j}^*$, tal que $\forall (a_{1,j}^*, a_{2,j}^*) \in A \times A, a_{1,j}^* D_{p,j} a_{2,j}^* \Leftrightarrow f(a_{1,j}^*, c_m) \succcurlyeq f(a_{2,j}^*, c_m) \forall c_m \in P$.

Sendo $a_{1,j}^* \in A$ uma alternativa de referência, as alternativas de referência dominantes em $a_{1,j}^*$, chamado de conjunto P -dominante (Eq. 5.3), e as alternativas de referência dominados por $a_{1,j}^*$, chamado de conjunto P -dominado (Eq. 5.4):

$$D_P^+(a_{1,j}^*) = \{a_{2,j}^* \in A: a_{2,j}^* D_P a_{1,j}^*\} \quad (5.3)$$

$$D_P^-(a_{1,j}^*) = \{a_{2,j}^* \in A: a_{1,j}^* D_P a_{2,j}^*\} \quad (5.4)$$

Aproximação Inferior (Superior): Para $P \subseteq C$, a coleção de todas as alternativas de referência que são classificadas em $Cl_{t,j}^{\geq}$ sem perda de ambiguidade constituem a aproximação P -inferior de $Cl_{t,j}^{\geq}$. A coleção de todas as alternativas de referência classificadas em $Cl_{t,j}^{\leq}$ constituem a aproximação P -superior de $Cl_{t,j}^{\leq}$. Podendo ser denotadas como:

(i) A aproximação P -superior de $Cl_{t,j}^{\geq}$: $\bar{P}(Cl_{t,j}^{\geq}) = \{a_{1,j}^* \in A^* : D_P^-(a_{1,j}^*) \cap Cl_{t,j}^{\geq} \neq \emptyset\}$

(ii) A aproximação P -inferior de $Cl_{t,j}^{\geq}$: $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\geq}) = \{a_{1,j}^* \in A^* : D_P^+(a_{1,j}^*) \subseteq Cl_{t,j}^{\geq}\}$

(iii) A aproximação P -superior de $Cl_{t,j}^{\leq}$: $\bar{P}(Cl_{t,j}^{\leq}) = \{a_{1,j}^* \in A^* : D_P^+(a_{1,j}^*) \cap Cl_{t,j}^{\leq} \neq \emptyset\}$

(iv) A aproximação P -inferior de $Cl_{t,j}^{\leq}$: $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\leq}) = \{a_{1,j}^* \in A^* : D_P^-(a_{1,j}^*) \subseteq Cl_{t,j}^{\leq}\}$

Limite: todas as alternativas são classificadas dentro de $Cl_{t,j}^{\geq}$ e $Cl_{t,j}^{\leq}$ com ambiguidade as regiões P -limites (regiões P -duvidosas) de $Cl_{t,j}^{\geq}$ (Eq. 5.5) e $Cl_{t,j}^{\leq}$ (Eq. 5.6):

$$Bn_{P,j}(Cl_{t,j}^{\geq}) = \bar{P}(Cl_{t,j}^{\geq}) - \underline{P}(Cl_{t,j}^{\geq}) \quad (5.5)$$

$$Bn_{P,j}(Cl_{t,j}^{\leq}) = \bar{P}(Cl_{t,j}^{\leq}) - \underline{P}(Cl_{t,j}^{\leq}) \quad t = \{1, \dots, n\} \quad (5.6)$$

Qualidade da aproximação: Para todo $P \subseteq C$, a qualidade da aproximação das classes Cl (Eq. 5.7) pelo o conjunto P de critérios é definido como a razão entre o número de alternativas de referência classificados P -corretamente e o número de todas as alternativas de referência que foram usadas:

$$\gamma_{P,j}(Cl) = \frac{|A^* - (\cup_{t=1, \dots, n} Bn_{P,j}(Cl_{t,j}^{\leq})) \cup (\cup_{t=1, \dots, n} Bn_{P,j}(Cl_{t,j}^{\geq}))|}{|A^*|} \quad (5.7)$$

Regras de decisão: as regras de decisão de cada DM especificamente a partir da aproximação inferior são representadas como:

SE $f(a_{i,j}, c_1) \geq e_{1,j} \wedge \dots \wedge f(a_{i,j}, c_m) \geq e_{t,j}$ ENTÃO $a_{i,j} \in Cl_{t,j}^{\geq}$ tal que $(e_{1,j} \dots e_{t,j}) \in V_{c_1} \times \dots \times V_{c_m}$.

Admitindo uma alternativa de referência $a_{1,j}^*$ avaliada por j decisores. Cada decisor pode alocar a alternativa em uma das classes de decisão definidas na construção do modelo tal que $Cl = \{Cl_{t,j}, t \in \{1, \dots, n\}\}$. Assim, o número de possíveis pares $(a_{1,1}^*, a_{1,2}^*)$ alocados em classes de decisão depende única e exclusivamente do número de classes de decisão, sendo n^2 .

Além disso, uma vez que uma alternativa passa a compor diferentes classes de decisão em função do número de participantes envolvidos no problema, o número de alternativas que violam o princípio da dominância pode aumentar. Esta situação ocorre, pois, a relação da

dominância verifica a relação de atributos e classes de decisão para um par de alternativas. Portanto, a importância de gerar as aproximações P -inferior de forma individual, tal que:

(i) A aproximação P -inferior de $Cl_{t,j}^{\geq}$: $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\geq}) = \{a_{1,j}^* \in A^*: D_P^+(a_{1,j}^*) \subseteq Cl_{t,j}^{\geq}\}$

(ii) A aproximação P -inferior de $Cl_{t,j}^{\leq}$: $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\leq}) = \{a_{1,j}^* \in A^*: D_P^-(a_{1,j}^*) \subseteq Cl_{t,j}^{\leq}\}$

Com as aproximações individuais obtidas, as regras de decisão podem ser geradas admitindo como dados de entrada a cardinalidade da aproximação das classes ($Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$)), e cardinalidade das alternativas de referência que atendem a parte da regra: $f(a_{i,j}, c_m) \geq e_{1,j}$. Finalmente, o processo de construção da aprendizagem de preferências pode ser iniciado.

Assumindo que para cada critério $q \in C$, $V_q \subseteq \mathbb{R}$ (V_q é quantitativo) e que dado um par de alternativas $f(a, q_m) \succcurlyeq f(b, q_m)$ implica que a relação de preferência de a em relação à b , são consideradas os seguintes tipos de regras de decisão do tipo *certain*:

– Se $f(a_{i,j}, c_1) \geq e_{q1,j} \wedge \dots \wedge f(a_{i,j}, c_m) \geq e_{qp,j}$ Então $a_{i,j} \in Cl_{t,j}^{\geq}$ tal que $(e_{q1,j} \dots e_{qp,j}) \in V_{c_1} \times \dots \times V_{c_m}$

– Se $f(a_{i,j}, c_1) \leq e_{q1,j} \wedge \dots \wedge f(a_{i,j}, c_m) \leq e_{qp,j}$ Então $a_{i,j} \in Cl_{t,j}^{\leq}$ tal que $(e_{q1,j} \dots e_{qp,j}) \in V_{c_1} \times \dots \times V_{c_m}$

5.2.2 Agregação e aprendizagem de preferências

Nesta fase do modelo, ocorre o estudo das regras de decisão que foram obtidas na etapa anterior. Cada regra de cada participante deve ser analisada para seguir para a fase de agregação coletiva. Abaixo estão descritas as etapas que consistem nesta modelagem de preferências.

Definição 1: E^{DM_j} é o conjunto de regras de decisão para decisor e $a_{i,j} \in A$ é a alternativa pertencente a base de informações que será classificada em $Cl_{t,j}$. φ é a função que retorna o conjunto de critérios pertencente as regras de decisão de cada DM (BOUZAYANE & SAAD, 2014):

$$\varphi: E^{DM_j} \times A \rightarrow E^{DM_j}$$

$$E^{DM_j} \times a_{i,j} \rightarrow \{e_t^{DM_j}, t \in \{1 \dots n\}\}$$

tal que n é o número de regras usadas na classificação com $\rho(DM_j, a_{i,j}, Cl_{t,j})$ sendo a classificação de $a_{i,j}$ pelo decisor DM_j na aproximação da união $Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$), em $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\geq})$

(resp. $\underline{P}(Cl_{t,j}^{\leq})$). Neste modelo foi usada as regras a partir da aproximação inferior da união de classes, pois fornecem o conhecimento do tipo *certain* fornecido pelas regras de decisão (BOUZAYANE & SAAD, 2014). Considerando também, que φ retorna as regras de decisão usando a estratégia de cobertura mínima (GRECO *et al.* 2001).

Definição 2: Seja $e_t^{DM_j}$ parte da regra originada a partir de E^{DM_j} no conjunto de cada decisor DM_j e C o conjunto finito de critérios. Chama de ν a função que retorna o conjunto de critérios contidos na regra (BOUZAYANE & SAAD, 2014):

$$\begin{aligned} \nu: R^{DM_j} &\rightarrow C \\ e_t^{DM_j} &\rightarrow \{c_m, m \in \{1 \dots m\}\} \end{aligned}$$

tal que m é o número de critérios a partir de C que compõe a parte da regra $e_t^{DM_j}$.

Durante a fase de interação entre as regras algumas situações podem ocorrer, assim nesta etapa do modelo, são apresentadas as definições para melhorar o processo de aprendizagem das preferências.

Assumindo que há duas classes de decisão com $r > s$, e dada um conjunto de funções de regras de decisão. Considerando também que há um conjunto de decisores, são estabelecidas as propriedades das regras de decisão coletivas. Para isto, considere um grupo de regras que conduzem a classes iguais, o desempenho pode alterar para um mesmo critério (c_m).

Propriedade 1 (Regras sobrepostas): Dado o lado direito da regra $e_t^{DM_j}$, e $r > s$, então $e_r^{DM_1} > e_s^{DM_2} > \dots > e_{s-1}^{DM_j}$

Propriedade 2 (Dominância de regras): Para dois pares de regras $e_r^{DM_1} \succcurlyeq e_s^{DM_2}$ então $r > s$

As duas seguintes propriedades derivam da comparação de regras de decisão entre os decisores. Portanto, dado um par de decisores, as suas regras quando adicionados podem apresentar as seguintes inconsistências.

Propriedade 3 (Relação de inconsistência de $f(a_{i,j}, c_m)$): Sejam duas alternativas classificadas em classes diferentes, pelas regras de decisão de cada decisor em classes, com $r > s$, então:

$$f(a_{1,j}, c_m) \in Cl_{s,j} \text{ e } f(a_{2,j-1}, c_m) \in Cl_{r,j} \text{ e } f(a_{1,j}, c_m) \succcurlyeq f(a_{2,j-1}, c_m)$$

A partir desta propriedade é revelada a inconsistência para o conjunto de regras de decisão coletivas com aprendizagem de preferências. Seja $v': R^{DM_j} \rightarrow C$ e $v'': R^{DM_{j-1}} \rightarrow C$ e o par de decisores $(DM_j; DM_{j-1})$, suas respectivas regras de decisão expressas da seguinte forma, e o conector lógico de conjunção (\wedge):

$$DM_j: \text{Se } f(a_{i,j}, c_1) \geq e_{q1,j} \wedge \dots \wedge f(a_{i,j}, c_m) \geq e_{qp,j} \text{ Então } a_{i,j} \in Cl_{s,j}^{\geq}$$

$$DM_{j-1}: \text{Se } f(a_{i,j+1}, c_1) \geq e_{q1,j+1} \wedge \dots \wedge f(a_{i,j+1}, c_m) \geq e_{qp,j+1} \text{ Então } a_{i,j+1} \in Cl_{r,j+1}^{\geq}$$

Propriedade 4 (Relação de inconsistência): seja as primeiras partes das regras de cada envolvido no problema, têm-se que:

$$DM_j: f(a_{i,j}, c_1) \geq e_{q1,j} \dots \text{ Então } a_{i,j} \in Cl_{s,j}^{\geq}$$

$$DM_{j-1}: f(a_{i,j-1}, c_1) \geq e_{q1,j-1} \dots \text{ Então } a_{i,j-1} \in Cl_{r,j-1}^{\geq}$$

Há inconsistência quando $e_{q1,j} > e_{q1,j-1}$ e $r > s$ para o critério c_1

Com a definição das Propriedades 1-4 é apresentado a Proposição 1 que permite melhorar o processo de aprendizagem com as preferências dos envolvidos. Como a inconsistência pode ocorrer e observado na Propriedade 4, a composição de condições que conduzem a mesma classe, mas com a parte condicional da regra também irá ocorrer.

Proposição 1 (Regras de decisão redundantes): define-se como Regras de decisão redundantes quando dada duas partes de regras de decisão, ocorre a seguinte situação: $e_t^{DM_1} \subseteq e_t^{DM_2}$, $\forall j \in J$. Assumindo que há o conflito semântico, para qual regra usar, tal que:

$$\text{Se } f(a_{i,1}, c_i) \geq e_t^{DM_1} \text{ Então } a_{i,1} \in Cl_{t,1}^{\geq} \quad (1)$$

$$\text{Se } f(a_{i,2}, c_i) \geq e_t^{DM_2} \text{ Então } a_{i,2} \in Cl_{t,2}^{\geq}; \quad (2) \quad \forall i=1, \dots, n$$

$$\text{com } e_t^{DM_1} \geq e_t^{DM_2}, \quad \forall j \in J \quad \forall t \in T$$

Neste caso, o interesse está em eliminar a redundância que pode haver nas regras de decisão. Então, após verificar que pode haver esta situação com $e_t^{DM_1} \subset e_t^{DM_2}$, $\forall j \in J$, a regra de decisão com menor amplitude é excluída. Neste caso, pode retornar o processo para a escolha das alternativas de referência para a classe Cl_t . Portanto, novas alternativas de referência podem ser introduzidas para novos resultados para $Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$).

Esta definição permite melhorar o aprendizado das preferências, pois induz ao acordo de preferências como sendo monotônicas. Assim, a agregação se torna mais simples de ser entendida.

A última fase da agregação e aprendizagem das preferências consiste na mensuração das preferências dos decisores, representadas pelas suas regras de decisão. A Proposição 2, que

busca mensurar a participação de decisores no processo de aprendizagem da construção das regras de decisão. Como para cada critério um decisor pode contribuir com as suas regras de decisão individuais, pode-se avaliar o quanto há desta contribuição. Isso assegura que há transparência na composição das preferências, e evita o conceito de caixa preta que poderia surgir caso isto não ocorresse.

Proposição 2 (Nível de participação): Seja $Cl_{t,j}$ uma classe de decisão, e sem perda de generalidade, $r_t^{DM_j}$ parte da regra que induz uma região de referência em $a_{i,j} \in Cl_{t,j}$, deve haver uma cardinalidade especifica para cada decisor, com taxa de participação em $r_t^{DM_j}$ para $Cl_{t,j}^{\geq}$ (Eq. 5.8) e $Cl_{t,j}^{\leq}$ (5.9).

$$\mu_{t,j}^{\geq} = \frac{\sum |e_t^{DM_j}|}{\sum |Cl_{t,j}^{\geq}|} \quad (5.8)$$

$$\mu_{t,j}^{\leq} = \frac{\sum |e_t^{DM_j}|}{\sum |Cl_{t,j}^{\leq}|} \quad (5.9)$$

onde μ_t^{\geq} e μ_t^{\leq} mede o Nível de participação de cada $e_t^{DM_j} \forall j \in J$ em relação a somente um critério c_m para classificar as alternativas em $Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$).

$\sum |e_t^{DM_j}|$ é a cardinalidade da parte de condição da regra levada em consideração para somente uma classe $Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$), dado c_m .

$\sum |Cl_{t,j}^{\geq}|$ é a cardinalidade de $Cl_{t,j}^{\geq}$, (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$).

O Nível de participação assegura a quantificação de participação de cada decisor DM_j com a regra $r_t^{DM_j}$ diante da classificação das alternativas. Se $\mu_{t,j}^{\geq}$ ($\mu_{t,j}^{\leq}$) aproximam de 1, mais regras de decisão do DM_j serão usadas na classificação das alternativas em $Cl_{t,j}^{\geq}$ (resp. $Cl_{t,j}^{\leq}$). Por outro lado, se o valor de $\mu_{t,j}^{\geq}$ ($\mu_{t,j}^{\leq}$) se aproxima de 0, menor é a contribuição do DM_j com as regras de decisão. Estas medidas contribuem com duas análises. Primeiro, as partes das regras $r_t^{DM_j}$ podem ser retiradas, quando apresentam valores baixos $\mu_{t,j}^{\geq}$ ($\mu_{t,j}^{\leq}$). Entretanto, esta opção pode retirar regras que possam contribuir positivamente no processo de agregação de preferências. Também, a rejeição da contribuição do DM_j torna-se algo indesejável.

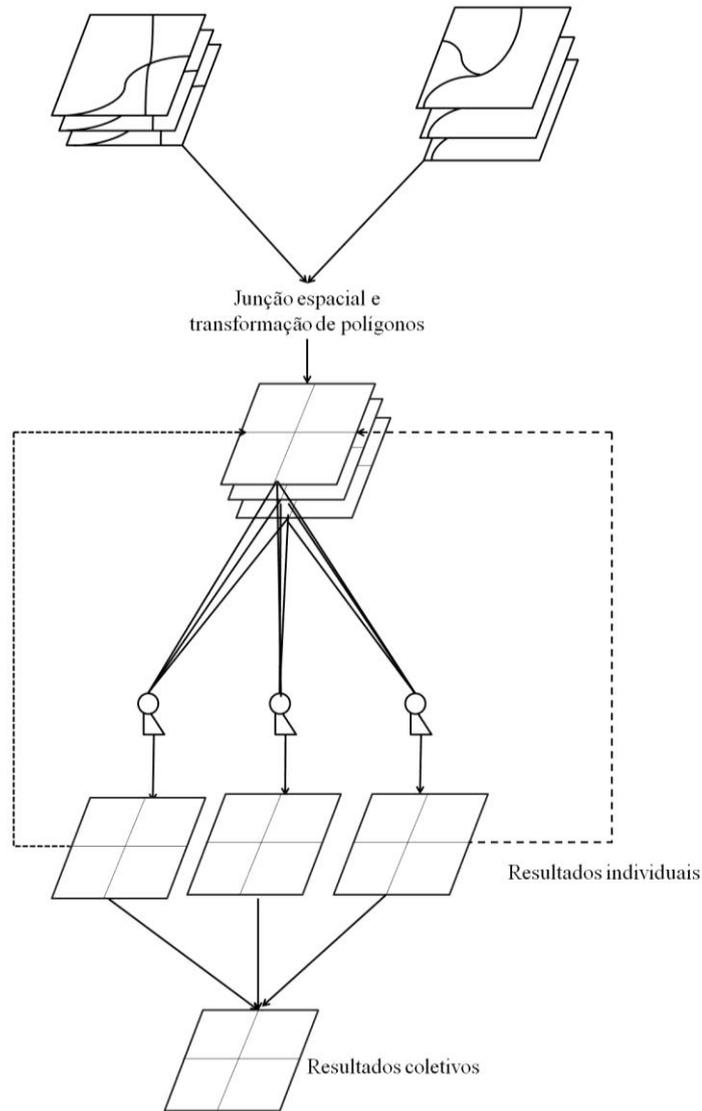
Após todos os procedimentos apresentados, as regras de decisão podem ser agregadas em um único arranjo coletivo, permitindo a classificação das alternativas que não foram usadas nos exemplos de referência.

5.2.3 Síntese do modelo.

Este modelo foi proposto para possuir um caráter de interação entre a fase de agregação de preferências individuais e coletivas. Portanto, o modelo para aprendizagem de preferências possui aspectos que buscam melhorar os resultados. Também, por ser um modelo para a segurança pública, insere a visão de mais de um decisor, dado que esse problema não é decidido por uma única pessoa e exige a participação de vários interessados. A seção seguinte reporta a aplicação do modelo e os impactos verificados em seus resultados. Na Figura 15 seguinte é resumido o processo sob o ponto de vista da espacialidade do processo.

O DRSA em conjunto com o ambiente SIG foi usado para construir um resultado consolidado através da aprendizagem de preferências. Foi usada uma abordagem *loose-coupling*, integrando o ambiente SIG, Matlab e jMAF e arquivos na extensão “.txt”.

Figura 15 - Fluxo espacial das informações (individuais e coletivas)



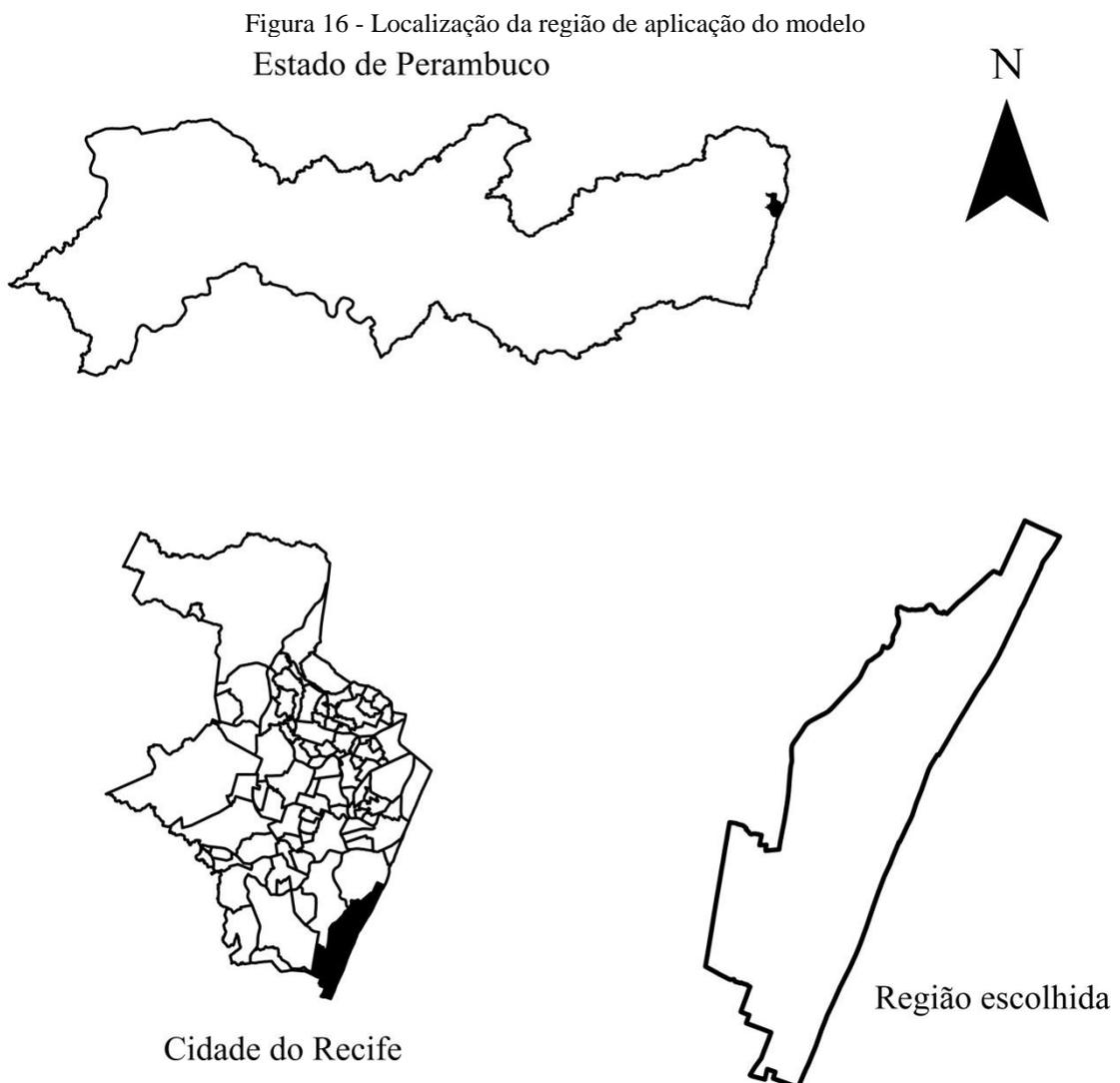
Fonte: Autor (2018)

5.3 Aplicação Numérica

Devido à importância e relevância do problema da violência (considerando crimes do tipo homicídio), sua aplicação foi feita com dados reais e conjuntos de exemplos de preferências distintos. Primeiramente, foram definidas as características do problema, escolha da região para aplicação, construção dos critérios e aplicação real. Finalmente, os resultados foram obtidos para uma posterior discussão.

5.3.1 Escolha da Região, critérios e classes de decisão

Para performance do modelo, foi escolhida uma região que pertence a cidade do Recife, Brasil. A área delimitada, possui 123.000 habitantes, segundo último censo demográfico (IBGE, 2010) e uma extensão de 7,5 km². A região foi escolhida, por deter um elevado número de hotéis e atrativos turísticos. Também, há lugares com público constante, como centros comerciais, centros de lojas, restaurantes e etc. A região possui um contraste de moradores. Por um lado, prédios residenciais na orla marítima, e em outros pontos da região moradias com condições desfavorecidas. A Figura 16 permite visualizar o local de estudo.

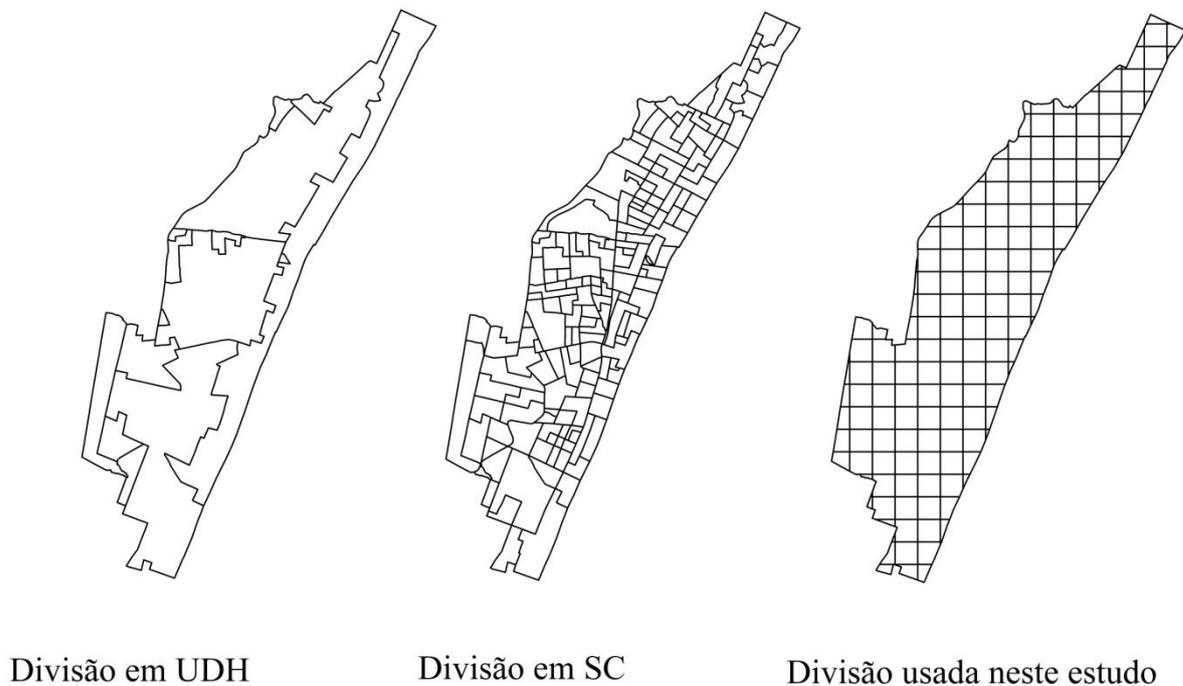


Fonte: Autor (2018)

No Brasil, indicadores sociais e econômicos são agregados segundo duas divisões territoriais. A primeira são as UDH's, que foram usadas no capítulo anterior. A outra divisão

são os Setores Censitários (SC) (IBGE, 2015). Ambos são fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O local de aplicação é um bairro, que possui 11 UDH's e 168 SC's. Por uma questão de interesse de estudo, foram consideradas as duas divisões. Para contornar o problema de agregar as informações, foi usada as ferramentas *Spatial Join* e *Repatting Shapes Tool* no Esri Arcgis 10.2. Assim, uma terceira divisão, foi usada especificamente neste estudo. Segundo Camacho-collados, Liberatore & Angulo (2015) a representação espacial em pequenos espaços, chamados de *grids*, se mostra adequada para classificação e alocação de recursos em segurança pública. A Figura 17 mostra as três divisões citadas.

Figura 17 - Divisão em Unidade de Desenvolvimento Humano (UDH), Setor Censitário (SC) e a divisão usada neste estudo



Fonte: Autor (2018)

Considerando as unidades apresentadas, há um total de 250 dados sociais e econômicos que podem ser extraídos. Estes são, por exemplo, moradores residentes, renda e desigualdade, densidade demográfica e tempo de estudo (IBGE, 2015). Em virtude da vasta quantidade de variáveis, foram escolhidas aquelas que, em estudos anteriores, mostraram relação associada com a violência. Para esta aplicação, foram escolhidas as variáveis que se relacionam com crimes do tipo CVLI (Crimes Violentos Letais e Intencionais), como latrocínio e homicídio. Para estabelecer a escolha destas variáveis, foram adotados estudos que mostraram relação

estatística (PEREIRA, MOTA & ANDRESEN, 2015), simulação de eventos (MALLESON & BIRKIN, 2012) e modelos usando variáveis explicativas (LIU *et al.* 2015; MENEZES *et al.* 2013).

Os dados foram extraídos a partir do IBGE e usados como critérios condicionais e que afetam a decisão de classificar uma das alternativas de referência, como propõe o modelo. Todos os critérios foram agregados com suas respectivas unidades originais. Posteriormente, com a junção espacial foram transformadas para os intervalos de *grid* conforme a Figura 17. Os critérios também foram associados com as preferências do tipo “Ganho” e “Custo”, mantendo a relação com crimes do tipo CVLI. A associação com o CVLI diz respeito a correlação estatística com as variáveis usadas e apresentada em Pereira, Mota & Andresen (2015). Por exemplo, supondo um critério de Educação, a relação é de “Ganho” com crime CVLI. Mais pessoas com tempo de estudo, menor o número de homicídios. Então, quanto maior melhor. A seguir estão descritos os critérios usados e na Tabela 17 segue os dados descritivos.

- **Número de residentes (num_res):** total da população que habita casa própria;
- **Densidade populacional (hab/km²) (pop_den):** razão entre o total da população e área delimitada;
- **Tempo de estudo (cinco anos ou mais) (lite_peo):** Anos de estudo em cinco anos ou mais;
- **Grau de escolaridade (lev_educ):** Número médio de anos de estudo que uma geração de crianças que ingressa na escola deverá completar ao atingir 18 anos de idade, se os padrões atuais se mantiverem ao longo de sua vida escolar;
- **Índice de Gini (gini_i):** Mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor é 0 quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos tem o mesmo valor) e tende a 1 à medida que a desigualdade aumenta. O universo de indivíduos é limitado àqueles que vivem em domicílios particulares permanentes.;
- **Proporção de pobres (prp_poor):** Proporção dos indivíduos com renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 140,00 mensais, em reais de agosto de 2010. O universo de indivíduos é limitado àqueles que vivem em domicílios particulares permanentes;
- **Percentual dos ocupados sem rendimento (ren_null):** Razão entre o número de pessoas de 18 anos ou mais de idade ocupadas e sem rendimento do trabalho e o número total de pessoas ocupadas nessa faixa etária, multiplicada por 100;

- **Rendimento médio dos ocupados (av_in_empl):** Média dos rendimentos de todos os trabalhos das pessoas ocupadas de 18 anos ou mais de idade. Valores em reais de agosto de 2010.

Tabela 17 - Dados descritivos dos critérios usados

Código	Valor máximo	Valor mínimo	Média	Desvio-padrão	Associação com CVLI	Origem	Preferência
num_res	236	1.598	776	289	Positiva	SC	Custo
pop_den	1.029,44	72.305,87	15.316,77	11.251,67	Negativa	SC	Ganho
lite_peo	69,79	99,38	92,31	4,64	Negativa	SC	Ganho
lev_educ	8,18	12,36	11,50	0,72	Negativa	UDH	Ganho
gini_i	0,41	0,64	0,53	0,07	Negativa	UDH	Custo
prp_poor	0,26	23,18	2,02	3,24	Negativa	UDH	Custo
ren_null	0,58	2,14	1,04	0,34	Positiva	UDH	Custo
av_in_empl	712,97	7.482,23	4.709,89	2.251,06	Negativa	UDH	Ganho

Fonte: Autor (2018)

A fase final consistiu em definir as cinco classes de decisão ordinal associadas com os critérios, permitindo avaliar as alternativas de referência. Estas classes têm por finalidade exibir como pequenos espaços carecem de intervenções a respeito de políticas de segurança pública. A ordem de preferência adotada foi: $Cl_1 < Cl_2 < Cl_3 < Cl_4 < Cl_5$. Em que a primeira classe (Cl_1) está associada com aplicação imediata de recursos a serem alocados. Enquanto que a classe (Cl_5) representa o mínimo de recursos a serem aplicados, portanto são mais seguras. Também existe a associação de preferência do tipo “Ganho”. Então, cada decisor escolhe suas próprias alternativas de referência, conforme a avaliação disposta na Tabela 17, e insere nas classes de decisão.

5.3.2 Decisores

Para desempenhar o modelo de segurança pública com vários decisores, foi considerada a situação com três participantes. Cada decisor escolhe as regiões de referência criando assim os subconjuntos individuais. Conforme as preferências de cada participante, as regiões avaliadas tal que $c_{m,j}(a_{i,j}^*)$, e cada alternativa de referência $a_{i,j}^*$ deve ser alocada em somente uma classe de decisão. Assumiu-se que o número de classes de decisão foi o mesmo para os participantes, e não houve escolha do grau de importância de cada decisor. Neste sentido, o propósito é explorar a experiência de cada decisor com relação ao lugar, fornecendo decisões e resultados consistentes. Depois, as avaliações foram agregadas conforme apresentado na Seção 5.2.1.

5.3.3 Ambiente computacional

Foi usado um sistema *loose-coupling* para tratamento, manipulação e gerenciamento das informações. Os dados espaciais e escolhas das alternativas de referência foram realizadas no ambiente Esri Arcgis 10.2. Também, o ambiente jMAF foi usado para obter as regras de decisão (BŁASZCZYŃSKI, GRECO & SŁOWIŃSKI, 2007) e o ambiente Matlab® para calcular o Nível de Participação e as Regras de decisão redundantes e geração das regras coletivas. O ambiente SIG permite mostrar aos usuários as informações individuais e coletivas. A troca de dados é feita usando arquivos no formato “.txt”.

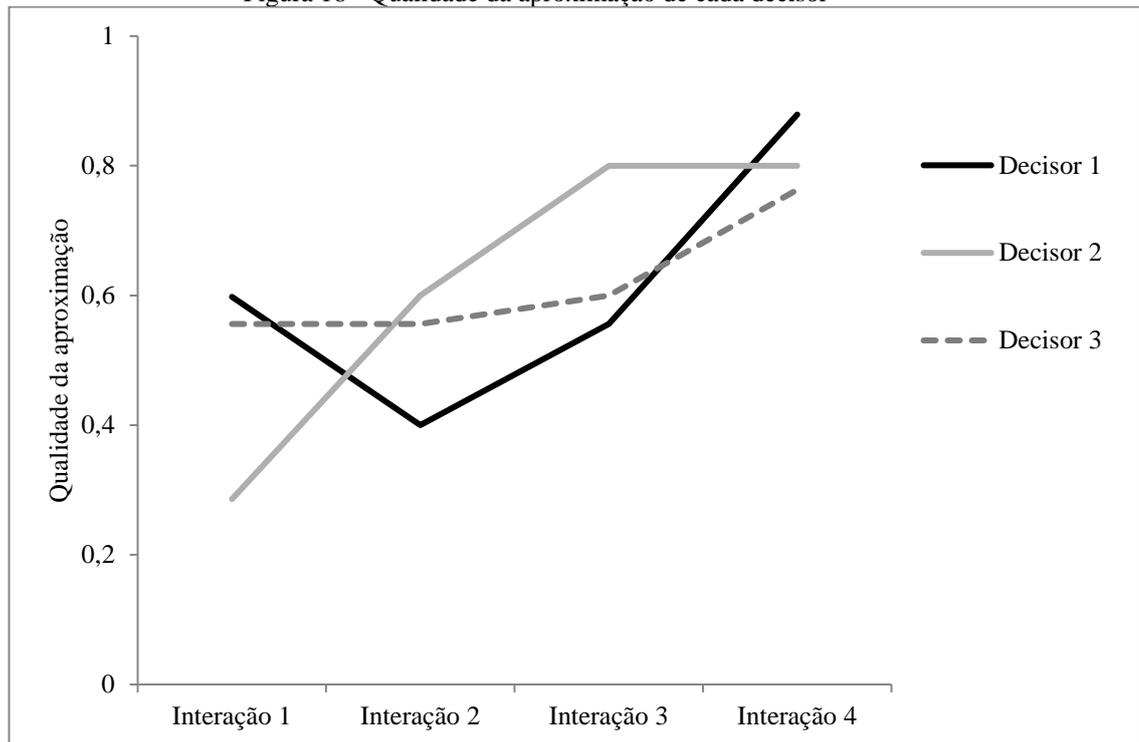
5.4 Resultados

Conforme os procedimentos apresentados na Figura 14, foi adotado um procedimento com quatro interações para analisar as informações individuais e coletivas. Em cada interação foram analisados os seguintes parâmetros:

- **Qualidade da aproximação de cada decisor:** a qualidade das alternativas de referência. Serve para medir a adequabilidade da classificação, permitindo classificar novas alternativas;
- **Nível de participação:** mede o percentual de regras de decisão provenientes de cada decisor para classificar as alternativas em classes previamente escolhidas;
- **Regras de decisão redundantes:** avaliação das regras apresentadas que são redundantes e podem dificultar o procedimento para obter os resultados coletivos;
- Número de alternativas de referência que atendem o princípio da dominância.

A Qualidade da aproximação varia conforme os resultados obtidos pelas alternativas de referência se alteram ao longo das interações. Para cada decisor essa mensuração foi feita. Na primeira interação, foram observados valores baixos relativos à qualidade. Enquanto que nas interações 3 e 4 estes parâmetros sofrem aumento. Assim, essa mudança nas alternativas de referência, garante que à medida que novas informações vão sendo acrescentadas ou trocadas, mais promissores são os resultados. Então, as regras garantem resultados expressivos. A Figura 18 mostra a evolução da Qualidade da aproximação.

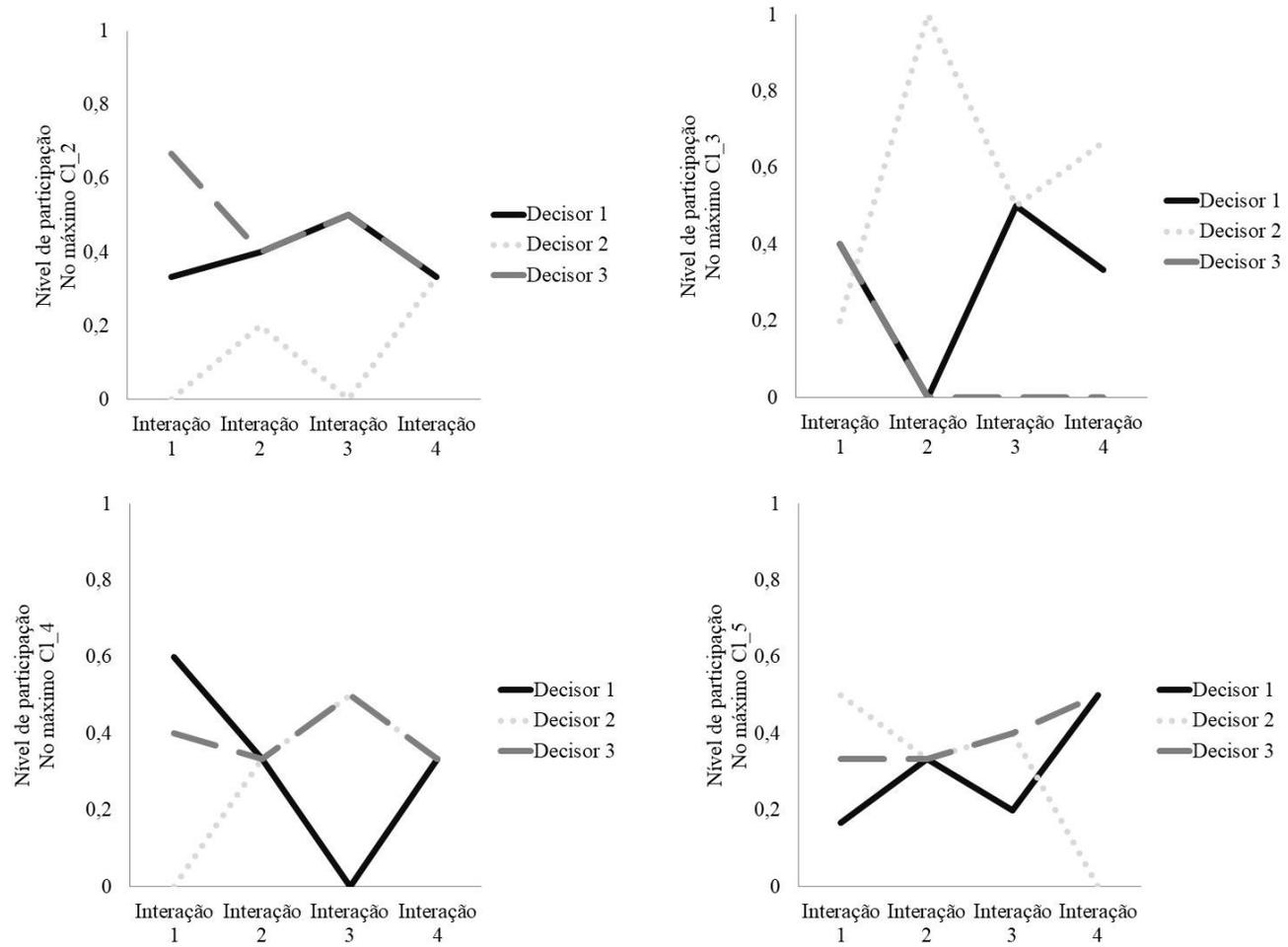
Figura 18 - Qualidade da aproximação de cada decisor



Fonte: Autor (2018)

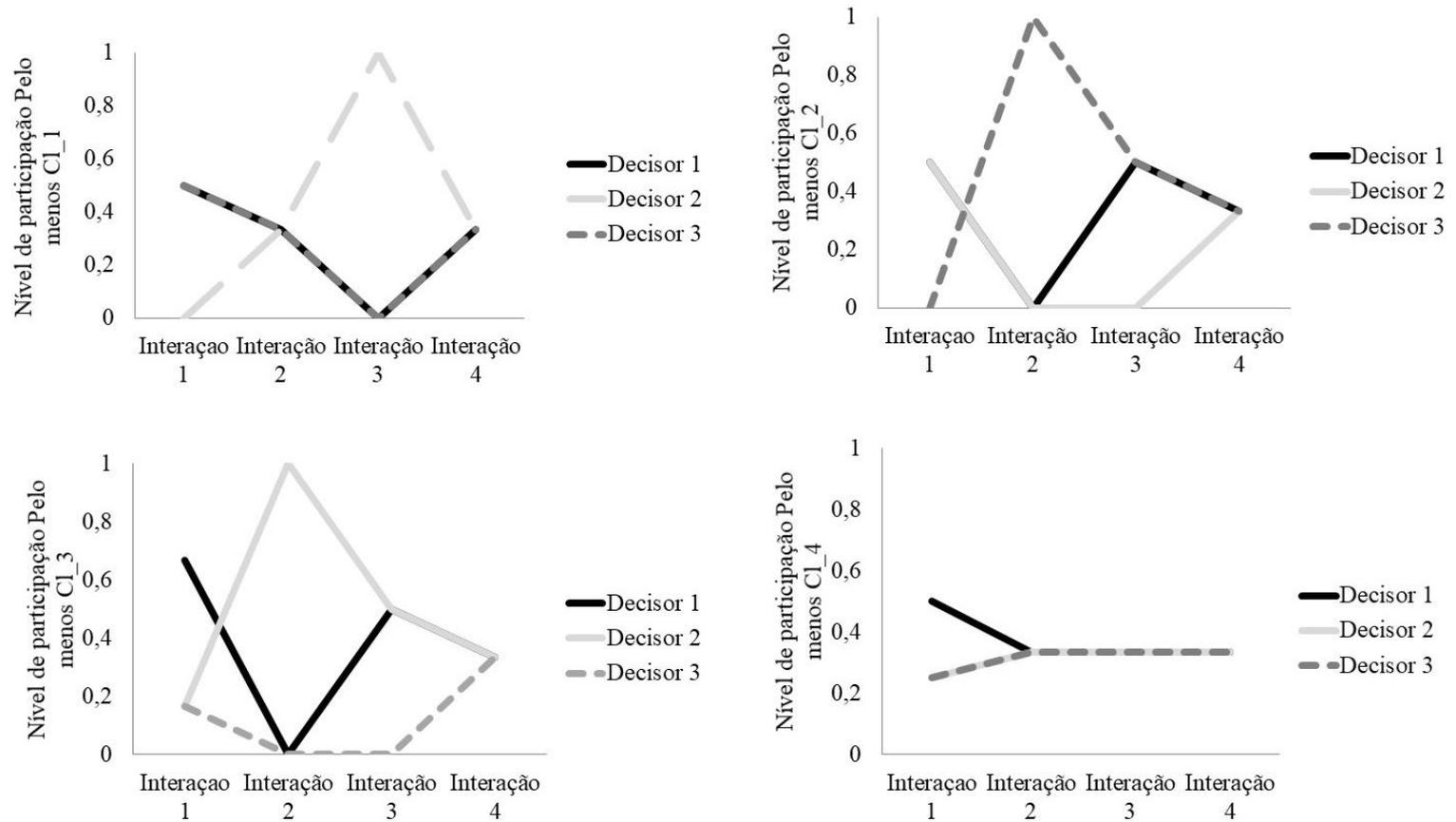
O Nível de participação (μ_t^{\geq} e μ_t^{\leq}), para cada iteração também foi estabelecido, havendo alterações conforme as mudanças feitas por cada decisor, nas regiões de referência. Portanto, estas mudanças no conjunto de informações iniciais resultam na oscilação dos valores de (μ_t^{\geq} e μ_t^{\leq}). Em cada iteração, esta taxa modifica, ocorrendo valores próximos entre os decisores, em cada de nível de iteração (por exemplo Cl_4^{\geq} , Cl_5^{\geq} e Cl_2^{\leq}), e observados nas interações 3 e 4. Portanto, as preferências coletivas se tornam similares quando novas regras de decisão são obtidas. Estas mudanças, impactam diretamente nas regras de decisão coletivas, pois as informações vão sendo modificadas. A Figura 19 e a Figura 20 mostram o Nível de participação para *Pelo menos* (Cl_t^{\geq}) e *No máximo* (Cl_t^{\leq}) para todas as interações, respectivamente.

Figura 19 - Interações do Nível de participação para classe *Pelo menos*



Fonte: Autor (2018)

Figura 20 - Interações para o Nível de participação para classe *No máximo*



Fonte: Autor (2018)

Destaca-se que este modelo foi desenvolvido para o campo de segurança pública, usando conhecimentos prévios para escolha do lugar e aplicado para crimes do tipo homicídios. Portanto, foi assumido que a escolha das alternativas ocorreu de forma distinta e para um mesmo conjunto de classes ordenadas. Após uma interação, as regras são usadas para obter resultados individuais. Em seguida, um novo conjunto de regras de decisão, baseado nas regras de decisão individuais, é apresentado para classificar novamente o conjunto de alternativas. Este ciclo permite perfazer uma interação completa.

Após o término do ciclo de uma interação, são identificados os fatores que contribuem para o melhoramento do processo de aprendizagem. Então, a semelhança de regras de decisão, Qualidade da aproximação e Nível de participação são medidas para decidir se haverá uma nova interação ou não. Também, o Nível de inconsistência entre pares de alternativas violadas pelo princípio da dominância permite um julgamento mais consistente. A Figura 21 ilustra uma interação para classificações *Pelo menos* (2, 3, 4 e 5). A interpretação dos resultados é feita da seguinte forma: regiões mais escuras, significam que são locais alocados em classes *Pelo menos* com alta de vulnerabilidade, mas são passíveis de melhorar o desempenho em segurança pública, conforme as avaliações subsequentes. Enquanto isso, as regiões nas outras cores necessitam de recursos públicos, e, portanto, não passam para classes menos vulneráveis.

Figura 21 - Resultados individuais e coletivos, classe ($CI_{\bar{c}}^Z$) – Interação 1

Fonte: Autor (2018)

Nesta pesquisa, houve o foco em como as regras de decisões que podem ser complementares e não similares em termos de preferências, mas possibilitando a agregação para uma recomendação final. Então, a Tabela 18 mostra as regras de individuais de decisão para a interação 1. Devido ao conjunto de alternativas ser pequeno, e, portanto, o número de exemplos também pequenos, subsequentemente a cardinalidade de regras também foi baixo. Entretanto, isso não inviabiliza o processo de aprendizagem, visto que a proposta deste modelo é tornar as preferências coletivas para um espaço conhecido e viável de objetos avaliados. Também é possível concluir que o subconjunto de exemplos, que servem para gerar regras, nem sempre irão cobrir todas as aproximações das classes. Entretanto, a agregação coletiva evita este problema, visto que as regras serão agregadas para uma recomendação final.

Tabela 18 - Regras de decisão individuais

#Regra interação 1	#N° da da regra	Regras individuais	Classe
1.1	1.1	SE lev_educ $\geq 12,36$ ENTÃO	<i>Pelo menos 5</i>
	1.2	SE pop_den $\geq 14.646,0 \wedge$ lev_educ ≥ 11.43 ENTÃO	<i>Pelo menos 4</i>
	1.3	SE num_res ≤ 621 ENTÃO	<i>Pelo menos 2</i>
	1.4	SE num_res $\geq 681 \wedge$ pop_des ≤ 8.571 ENTÃO	<i>No máximo 1</i>
	1.5	SE gini_i $\geq 0,64$ ENTÃO	<i>No máximo 4</i>
2.1	2.1	SE ren_null $\leq 0,63$ ENTÃO	<i>Pelo menos 5</i>
	2.2	SE pop_den $\geq 15.398,0 \wedge$ lite_peo $\geq 95,7$ ENTÃO	<i>Pelo menos 4</i>
	2.3	SE gini_i $\leq 0,52$ ENTÃO	<i>Pelo menos 3</i>
	2.4	SE pop_den $\geq 15.398,0$ ENTÃO	<i>Pelo menos 3</i>
	2.5	SE pop_den ≥ 9.612 ENTÃO	<i>Pelo menos 2</i>
	2.6	SE pop_den ≤ 8.571 ENTÃO	<i>No máximo 1</i>
	2.7	SE pop_den ≤ 9.612 ENTÃO	<i>No máximo 3</i>
	2.8	SE num_res ≥ 1.476 ENTÃO	<i>No máximo 3</i>
	2.9	SE gini_i $\geq 0,64$ ENTÃO	<i>No máximo 4</i>
3.1	3.1	SE pop_den ≥ 22.890 ENTÃO	<i>Pelo menos 5</i>
	3.2	SE num_res ≤ 423 ENTÃO	<i>Pelo menos 4</i>
	3.3	SE num_res ≤ 664 ENTÃO	<i>Pelo menos 2</i>
	3.4	SE ren_null $\leq 1,11$ ENTÃO	<i>Pelo menos 2</i>
	3.5	SE num_res $\geq 681 \wedge$ pop_den ≤ 14.646 ENTÃO	<i>No máximo 1</i>
	3.6	SE num_res $\geq 539 \wedge$ pop_den ≤ 14.646 ENTÃO	<i>No máximo 2</i>
	3.7	SE pop_den ≤ 14.646 ENTÃO	<i>No máximo 4</i>

Fonte: Autor (2018)

Partindo das regras de decisão de cada indivíduo, um novo coletivo de regras é formado e segue descrito na Tabela 19. Esta junção permite observar a redundância de regras, surgindo a partir das regras 2.1 e 2.2, visto que qualquer alternativa classificada em classe *Pelo menos 4*. Assim, pelo que foi estabelecido, a parte da regra $f(a_{i,2}, c_{pop_den}) \geq 15.398_t^{DM_2}$ foi removida da agregação coletiva, enquanto que a parte da regra $f(a_{i,1}, c_{pop_den}) \geq 14.646_t^{DM_1}$ foi mantida e observada na Tabela 19. Além disso, o Nível de participação pode ser mensurado neste estágio. No caso das regras que conduzem a classe *Pelo menos 5*, há três partes condicionais de regras. Portanto, há uma contribuição de um terço de cada preferência de individual que podem ser agregadas para induzir uma nova alternativa a esta classe.

Tabela 19 - Regras de decisão agregadas.

#N° da regra	Regras agregadas	Classe
1.1; 2.1; 3.1	SE $\text{lev_educ} \geq 12,36 \vee \text{prp_poor} \leq 0,63 \vee \text{pop_den} \geq 22.890$ ENTÃO	<i>Pelo menos 5</i>
1.2; 2.2; 3.2	SE $\text{pop_den} \geq 14.646 \wedge \text{lev_educ} \geq 11,43 \vee \text{IF } \text{pop_den} \geq 14.646 \wedge \text{lit} \geq 95,7 \vee \text{num_res} \leq 423$ ENTÃO	<i>Pelo menos 4</i>
2.3; 2.4	SE $\text{gini_i} \leq 0,52 \vee \text{pop_den} \geq 15.398$ ENTÃO	<i>Pelo menos 3</i>
1.3; 2.5; 3.3; 3.4	SE $\text{num_res} \leq 621 \vee \text{pop_den} \geq 15.398 \vee \text{num_res} \leq 664 \vee \text{ren_null} \leq 1,11$ ENTÃO	<i>Pelo menos 2</i>
1.4; 2.6; 3.5	SE $\text{num_res} \geq 681 \wedge \text{pop_den} \leq 14.646 \vee \text{pop_den} \leq 14.646 \vee \text{num_res} \geq 681 \wedge \text{pop_den} \leq 14.646$ ENTÃO	<i>No máximo 1</i>
3.6	SE $\text{num_res} \geq 539 \wedge \text{pop_den} \leq 14.646$. ENTÃO	<i>No máximo 2</i>
2.7; 2.8	SE $\text{pop_den} \leq 9.612 \vee \text{num_res} \geq 1.476$ ENTÃO	<i>No máximo 3</i>
1.5; 2.9; 3.7	SE $\text{gini_i} \geq 0,64 \vee \text{pop_den} \leq 14.646$ ENTÃO	<i>No máximo 4</i>

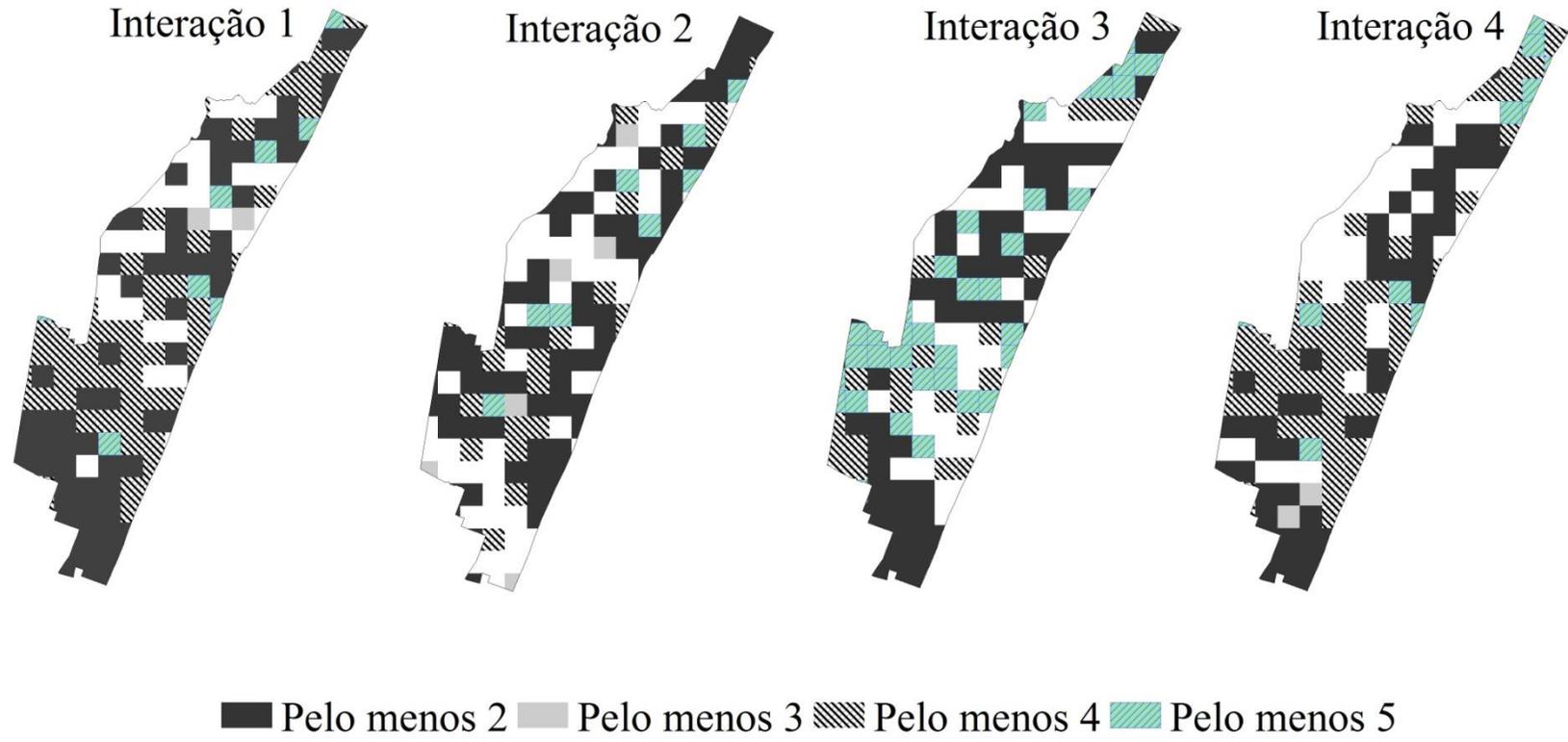
Fonte: Autor (2018)

Após as 4 iterações, foram obtidos os resultados coletivos para as classes *Pelo menos* e *No máximo* para avaliar o nível de segurança e a necessidade de alocação de recursos em políticas de segurança. Na Figura 22 e Figura 23 são observados todos os resultados coletivos para cada interação realizada. Para os resultados de classes *Pelo menos* há um conjunto de áreas escurecidas (*Pelo menos 2*), que podem ter baixo desempenho, mas também podem ser classificadas em classes superiores. Em relação aos resultados de classes *No máximo*, foi verificado que alternativas não classificadas em classes *Pelo menos* aparecem em *No máximo* classe 1. Consequentemente, são locais com desempenho negativo com relação aos critérios. Portanto, as ações de segurança se tornam reativas.

A observação das interação permite concluir que as informações individuais se aproximam à medida que o processo evolui, portanto, tendo resultados mais consistentes, e observado na interação 4. Isto condiz com experiências similares e beneficiadas pelo processo de aprendizagem com as regras de decisão, embora isto não necessariamente seja verificado nas iterações iniciais. Outra questão que contribui na convergência de preferências similares é o compartilhamento de resultados individuais. Como não há preocupação em conflitos de interesse, visualizar os resultados individuais possibilita compartilhar preferências. Finalmente, uma nova interação pode gerar novos conjuntos de regras de decisão, visto que

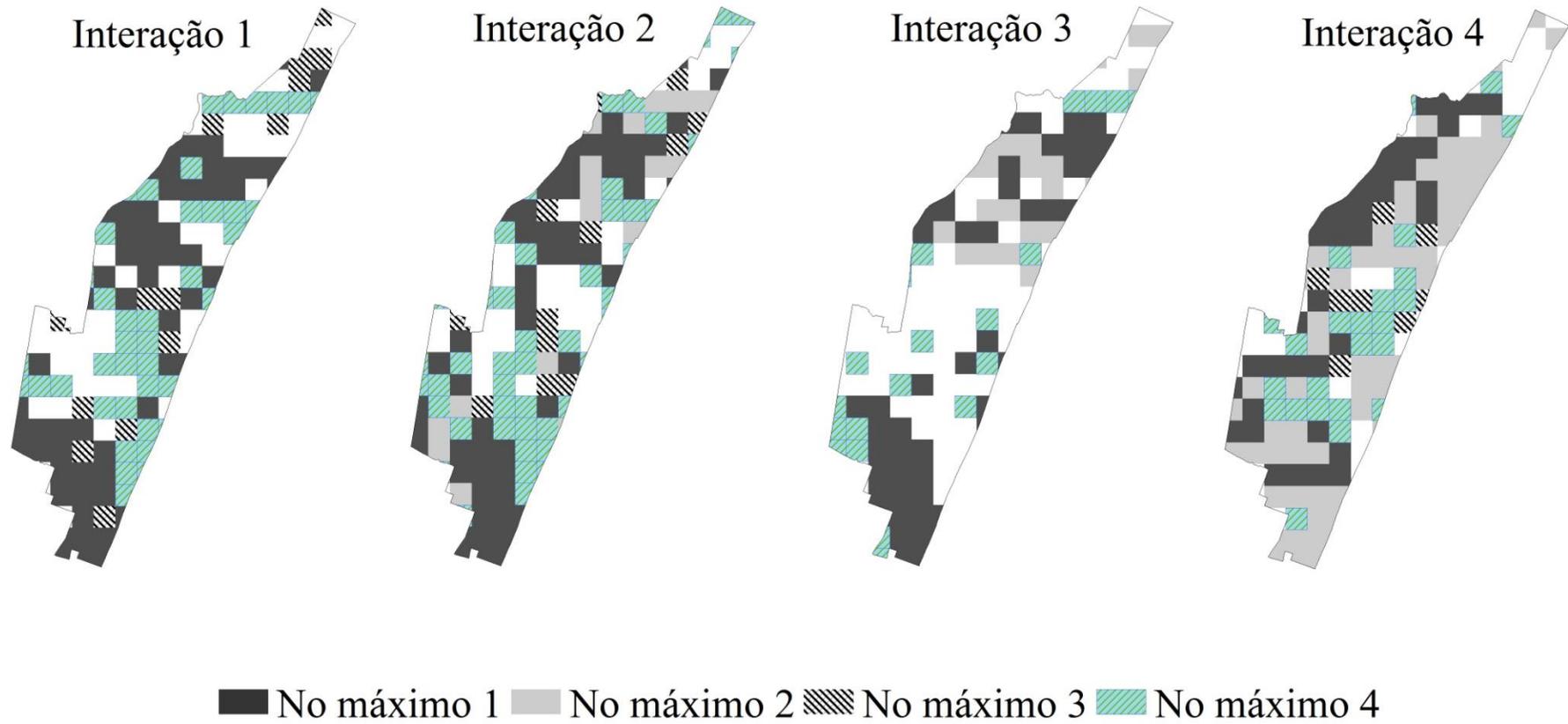
novos exemplos de referência podem ser alterados, mesmo associado com as experiências compartilhadas.

Figura 22 - Resultados coletivos para classes Pelo menos



Fonte: Autor (2018)

Figura 23 - Resultados coletivos para classes No máximo

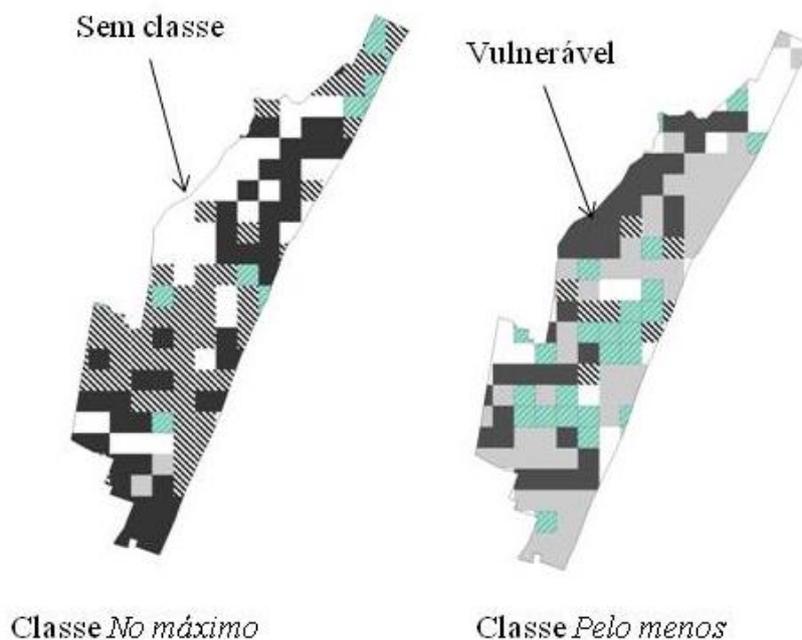


Fonte: Autor (2018)

Em relação aos resultados para as regiões avaliadas, pode-se notar que houve a interatividade das classificações, conforme esperado pela proposição do modelo. Além disso, algumas considerações são importantes e devem ser enfatizadas pelas particularidades dos resultados em cada interação.

- Na interação 1 e interação 2 observados na Figura 22 há uma variação nas classificações, que não se mostram coerentes. Isto se deve as modificações dos exemplos de referência e agregação das regras de decisão;
- Na interação 3 e interação 4, ainda na Figura 22 os resultados se tornam mais consistentes. As alternativas classificadas pelas regras e que não foram utilizadas nos exemplos de referência, condizem com o desempenho dos critérios. Esta situação é refletida na Figura 23;
- Observando a interação 4 na Figura 22 e Figura 23, as alternativas alocadas em classe *Pelo menos 4* e *No máximo 4* também se mostram consistentes. Evidente, uma alternativa não poderia se diferenciar cardinalmente das classes, em virtude do desempenho dos critérios;
- A última observação diz respeito ao fato que alternativas que não são apoiadas pelas regras do tipo *Pelo menos* não são classificadas, mas são alocadas em classe *No máximo*. Isso pode ser observado na interação 4, portanto são alternativas mais vulneráveis. Também observadas no desempenho dos critérios e detalhadas na Figura 24.

Figura 24 - Comparação das alternativas não classificadas



5.5 Validação do modelo

A proposta deste estudo pode ser definida como uma busca seletiva para “aprender” com a evolução das regras de decisão, representando as preferências dos envolvidos. Como dito acima, aqui se pretende expor um modelo que possa “aprender” com as preferências de pessoas que compartilham preferências similares para um problema de segurança pública. Neste sentido, assume-se que não há situações de conflito entre os envolvidos. Também, não há um supradecisor e nem ponderação de “pesos” para os participantes.

O intuito foi obter resultados com base nas regras de decisão que mostre a evolução das preferências agregadas. Portanto, assumindo que o número de critérios, de alternativas e classes pré-ordenadas são iguais para todos os envolvidos no processo de escolha dos dados de entrada. Também, a relação de preferência (custo ou ganho) estabelecida para os critérios são iguais e as classes possuem mesma ordem de preferência com respeito aos participantes.

Portanto, nesta etapa do presente estudo, uma análise crítica para validar o modelo é apresentada, considerando os seguintes aspectos:

- Abordagem *output* para agregação das preferências (resultados individuais são visualizados);
- Interatividade associada a escolha de novos exemplos ou atribuição para outras classes de decisão dos exemplos já usados;
- Parâmetros são utilizados para mensurar possíveis inconsistências no processo de agregação;
- A participação das preferências expressas pelas regras também é medida para garantir o desempenho de cada envolvido.

Na fase inicial, foram observados o comportamento da Qualidade da aproximação e os resultados construídos com base na agregação das regras. Então, estes dois mensuradores foram avaliados seguindo a proposta do modelo, ou seja, considerando o conjunto individual de exemplos de referência. Posteriormente, os conjuntos de exemplos de referência, para cada interação, foram avaliados como um único conjunto, e observados os resultados da qualidade da aproximação e classificação. Então, o questionamento que norteia esta validação é: Se todos os exemplos de referência fossem agregados em uma única tabela, qual o impacto traria para a proposta de aprendizagem de preferências?

Então, após a agregação conjunta, para cada interação, foram excluídos exemplos iguais e com mesma classe de decisão, mas mantidos exemplos iguais e classes de decisão diferentes. A Tabela 20 apresenta a comparação entre os exemplos usados (conjuntos individuais e agregados), Qualidade da aproximação e adicionados às classificações corretas e

incorretas. Em relação ao conjunto de exemplos que foram agregados, a Qualidade da aproximação diminuiu, quando comparado com a Qualidade da aproximação individual, para cada interação. A justificativa para este resultado se deve ao uso de exemplos distintos em termos de preferências, que proporcionam ao aumento dos pares que violam o princípio da dominância.

Em seguida, o uso das regras de decisão geradas pelos exemplos de referência individuais e coletivos também foram considerados. Assim, foi usada a *misclassification matrix*, para confrontar os exemplos classificados corretamente, não corretamente e não classificados. Na Tabela 20 são observadas as variações entre os exemplos que foram reclassificados pelas regras, mostrando que uma agregação coletiva pela abordagem de *input*, não permite tratar as inconsistências derivadas desta visão coletiva. Por outro lado, o uso do conjunto individual de regras viabiliza esta análise, além do posterior tratamento das regras de decisão coletiva.

Tabela 20 - Qualidade da aproximação obtidas com os exemplos individuais e agregados

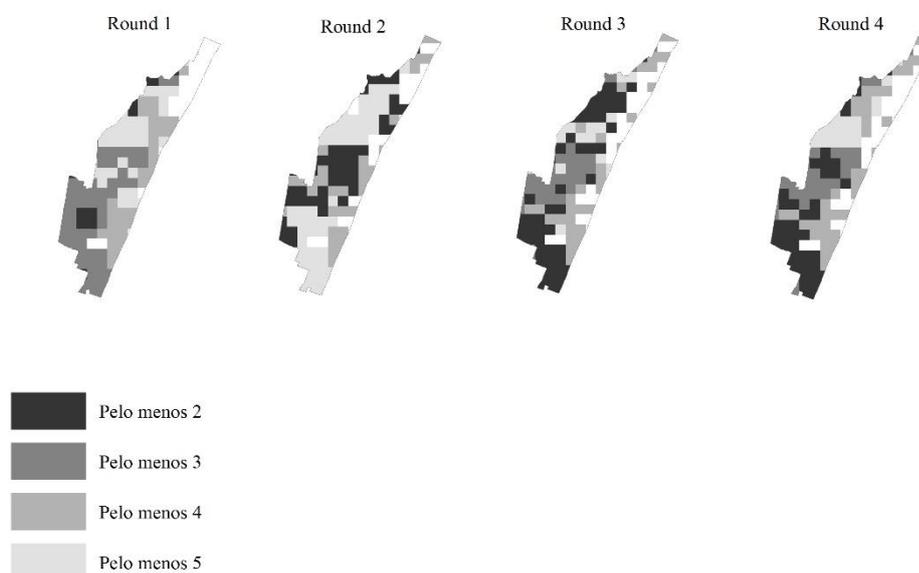
Participantes	Número de exemplos	Qualidade da aproximação (%)	Classificados corretamente	Não classificados corretamente	Não classificados
Interação 1					
DM_1	14	59,8	90,91	9,09	0,00
DM_2	13	28,6	61,91	38,09	0,00
DM_3	14	55,6	92,11	7,89	0,00
Agregados	33	48,9	65,21	34,79	0,00
Interação 2					
DM_1	10	40,0	50,00	20,00	30,00
DM_2	10	60,0	70,00	10,00	20,00
DM_3	09	55,6	100,00	0,00	0,00
Agregados	24	37,9	51,72	24,14	24,14
Interação 3					
DM_1	09	55,6	77,78	22,22	0,00
DM_2	10	80,0	90,00	10,00	0,00
DM_3	09	60,0	66,66	11,11	22,23
Agregados	25	21,4	39,28	28,57	32,15

Interação 4					
DM_1	18	87,9	72,30	16,58	11,12
DM_2	10	80,0	70,00	10,00	20,00
DM_3	10	76,3	100,00	0,00	0,00
Agregados	32	60,5	71,05	18,42	10,53

Fonte: Autor (2018)

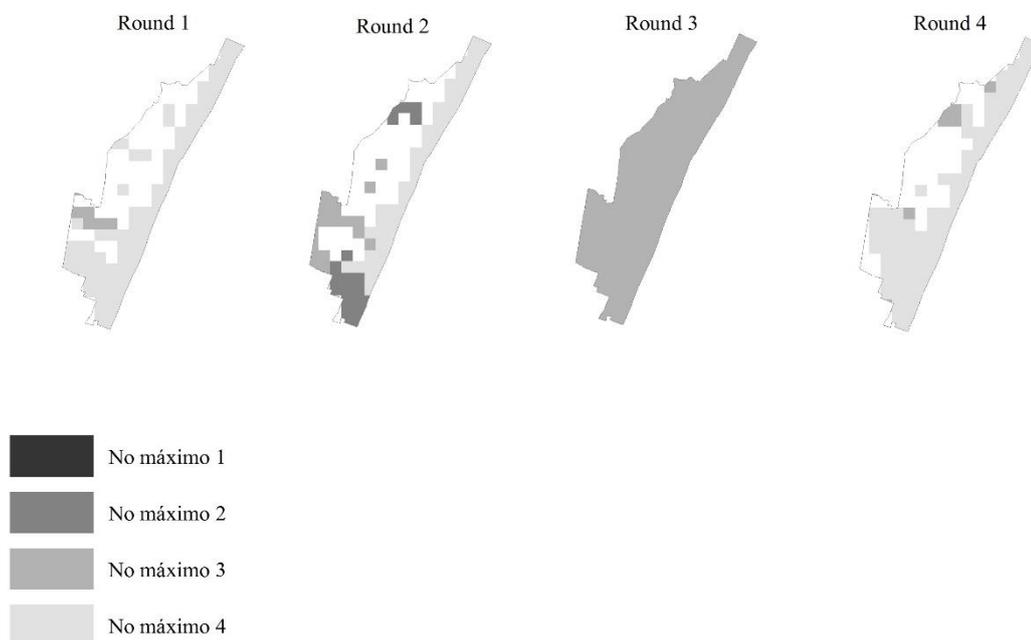
Finalmente, ainda na demonstração da necessidade de tratamento das regras de decisão, foram geradas as classificações considerando o conjunto de regras de decisão, considerando o conjunto agregado dos exemplos de referência. A Figura 25 e a Figura 26 apresentam os resultados com os exemplos agregados. Em relação aos resultados apresentados na Figura 22 e na Figura 23, percebe-se a discrepância existente entre as informações. O uso agregado dos exemplos de referência exibe diferentes classificações para cada interação. Na Figura 26 não ser percebe um resultado consistente após as interações, por exemplo.

Figura 25 - Resultados agregados para classe *Pelo menos*



Fonte: Autor (2018)

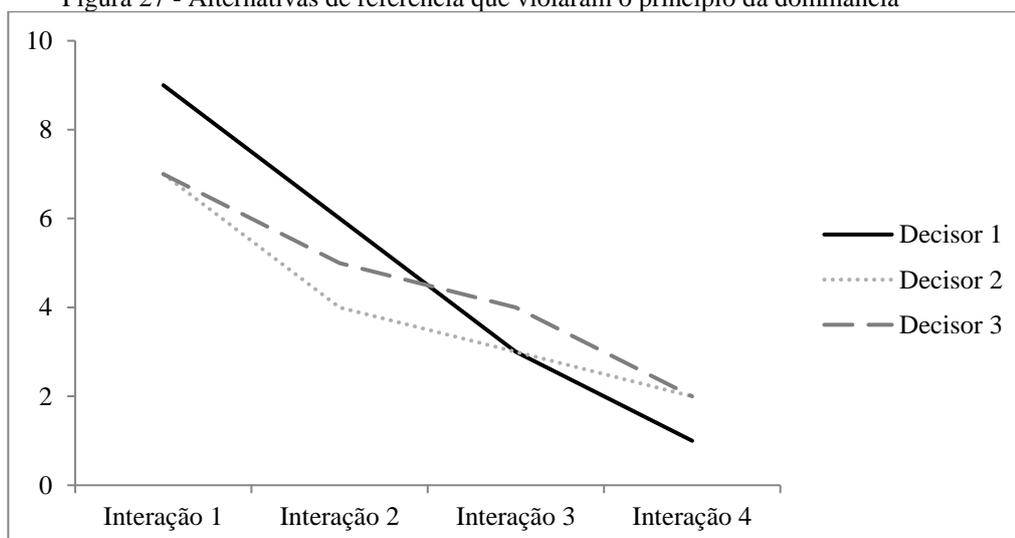
Figura 26 - Resultados agregados para classe No máximo



Fonte: Autor (2018)

Para permitir a parada das interações, verificou-se também, que quando o número de alternativas de referência que não atendem o princípio da dominância não contribuem para resultados promissores. Quando o princípio da dominância é atendido, a consistência da informação melhora, tornando as regiões representativas. Assim na Figura 27 é mostrado o decaimento das alternativas que não atendem o princípio da dominância após cada interação.

Figura 27 - Alternativas de referência que violaram o princípio da dominância



Fonte: Autor (2018)

Finalmente, aqui irá se discutir a estratégia de agregação pela saída, ou seja, os resultados individuais são obtidos e uma agregação para obter uma recomendação final coletiva é realizada. Embora, possa ser mais complexa do que a agregação pela entrada, cada decisor participa com relação aos seus próprios resultados (CHAKHAR *et al.* 2016). Mesmo podendo ser uma tarefa complexa, usando a agregação pela saída, o Nível de Participação e as Regras de decisão redundantes buscam mitigar esta dificuldade. Pois, os resultados individuais são avaliados, garantindo resultados mais consistentes.

O procedimento também foi construído para quando chegar a etapa 3.1 da Figura 14 e baseado nas Definições 1 e 2, o processo possa ser reiniciado. Isto pode acontecer, quando os resultados iniciais possam ser inconsistentes com a realidade. O processo pode ser reiniciado com todos os decisores, ou não. Então, três possíveis situações podem ocorrer: trocar as alternativas de referência; adicionar novas alternativas de referência, mantendo as anteriores; e mudar as classes de decisão. Então, as novas informações de referência podem ser alcançadas até obter resultados mais desejáveis. Como não se fez o uso de parâmetros e elicitación de preferências, existe a facilidade na construção do modelo (CHAKHAR *et al.* 2016). Ainda, as regras de decisão são usadas para agregação individual e coletiva, respectivamente.

5.6 Impacto nas políticas de segurança pública

A aplicação deste modelo revela pequenas regiões que necessitam de mais atenção em termos de recursos para segurança pública. O modelo foi capaz de identificar os locais mais vulneráveis de acordo com os padrões de desempenho dos critérios, baseado nas regras de decisão após avaliações holísticas de exemplos previamente conhecidos.

Neste estudo, foram considerados informações com relação ao desempenho dos critérios, no sentido de identificar locais prioritários em termos de vulnerabilidade e violência. Portanto, os resultados podem auxiliar os decisores envolvidos na área de segurança, para fazer uso eficiente dos recursos disponíveis. Especificamente para a cidade do Recife, a disponibilidade de recursos não é homogênea (WOLFF, 2015; RATTON, GALVÃO & FERNANDEZ, 2014). Realmente, recursos (patrulhas policiais e viaturas disponíveis) são alocados em função de dados estatísticos (55), e ainda não há uma abordagem estruturada para evitar a violência (BARBOSA & RODRIGUES, 2017; ZAVERUCHA & NÓBREGA Jr, 2015).

Neste capítulo é importante salientar as motivações para a escolha de um único bairro. O estudo de pequenos espaços (*micro-places*) em análise criminal são mais adequados para entender o comportamento da violência e a proposição de intervenções em segurança pública (WANG *et al.* 2013; Braga, Papachristos & Hureau, 2012). Segundo, desenvolver a aplicação em uma área maior resultaria em um conjunto maior de alternativas, que poderiam apresentar grande heterogeneidade de informações, dificultando o processo de aprendizagem de preferências. Além disso, o DRSA já vindo sendo usado em casos com um conjunto menor de alternativas (LIOU & TZENG, 2010; PALMISANO *et al.* 2016; KUJAWINSKA *et al.* 2016; RAWAT *et al.* 2016).

Por outro lado, o local da pesquisa escolhido possui como característica relevante, a heterogeneidade econômica e social. Isto é, grande parte do local condensa desempenho em relação aos critérios levantados, porém uma pequena parcela de setores não possui estes mesmos desempenhos. Portanto, este modelo consegue capturar esta peculiaridade do conjunto de dados usados, resultando na identificação de outros locais que também possuem vulnerabilidade para segurança. Por exemplo, novas alternativas alocadas em classe *No máximo* 1 apresentam alta vulnerabilidade.

Com relação aos desempenhos médios para os critérios das alternativas classificadas em (Cl_2^{\geq}) e (Cl_1^{\leq}) e em comparação com a média geral das alternativas, seguem discussões conclusivas. A média para o critério “Número de residentes” em alternativas classificadas em *Pelo menos* e *No máximo* em classes 2 e 1, estão acima da média geral de todas as alternativas, neste critério. Devido este critério ser do tipo “Custo” são esperadas políticas públicas que possam mitigar esta situação. Por exemplo, Pereira, Mota & Andresen (2015) indicam o controle da distribuição populacional como função do governo.

Para o critério Densidade populacional, a média de desempenho das alternativas classificadas em (Cl_2^{\geq}) e (Cl_1^{\leq}) , foi menor do que a média geral, sendo um critério do tipo “Ganho”. Ainda segundo Pereira, Mota & Andresen (2015) isto ocorre na região devido ao padrão de renda elevado. Por outro lado, o resultado médio para (Cl_2^{\geq}) e (Cl_1^{\leq}) contrasta em relação à média geral e do tipo de preferência. Pode-se considerar como limitação do modelo, pois agrega preferências distintas. Portanto, a taxa do Nível de participação tenta evitar este tipo de problema nos resultados coletivos. Por isso a importância em considerar os resultados individuais e coletivos sem comprometer a solução final. Na Tabela 21 seguem as

comparações entre a média geral de desempenho das alternativas e a média para as alternativas em (Cl_2^{\geq}) e (Cl_1^{\leq}) .

Tabela 21 - Comparação das médias dos critérios e das alternativas alocadas em (Cl_2^{\geq}) e (Cl_1^{\leq}) .

Critério	Média geral	Interação Cl_2^{\geq}	5 Interação Cl_1^{\leq}	5 Preferência
Número de residentes	776,00	780,00	798,42	Custo
Densidade populacional (hab/km ²)	15370,40	12532,00	9795,17	Ganho
Tempo de estudo (5 anos ou mais)	92,31	92,59	92,59	Ganho
Grau de escolaridade	11,50	11,69	11,71	Ganho
Índice de Gini	0,53	0,51	0,50	Custo
Proporção de pobres	2,02	1,95	2,39	Custo
Percentual dos ocupados sem rendimentos	1,04	0,95	0,93	Custo
Rendimento médio dos ocupados	4709,87	4494,94	4098,00	Ganho

Fonte: Autor (2018)

5.7 Considerações do capítulo

Este capítulo trouxe uma variante do modelo anterior, permitindo uma análise interativa de aprendizagem de preferências, com base em regras de decisão. O modelo permitiu analisar as informações obtidas pelos exemplos de referência e considerando mais de um indivíduo atuando no problema. Parâmetros foram estabelecidos para apoiar o processo de tratamento das regras de decisão e possibilitar a agregação das preferências. Ao final, os resultados se mostraram coerentes com a proposta apresentada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O último capítulo versa sobre os comentários finais do estudo. Aqui serão apresentados os destaques e os achados relevantes. Também são identificadas implicações e as limitações que foram identificadas. Por último, sugestões para pesquisas futuras serão introduzidas.

6.1 Conclusões

A motivação do estudo bibliométrico se deve ao crescente uso do tema SIG-AMD, havendo diferentes áreas de pesquisas que o assunto pode ser empregado. Entretanto, o tema ainda carece de informações que podem ser úteis no futuro, por isso o foco foi levantar as contribuições descritivas, quantificando estas informações, investigar as áreas de destaque e apresentar novas perspectivas em relação ao futuro do tema.

Em relação às informações descritivas, existe uma ênfase para publicações em periódicos com temas voltados para o meio ambiente, conservação de paisagens e riscos naturais. As contribuições são em sua maioria de autores do Irã, EUA, Índia e Itália. Também foram identificados diferentes grupos de coautores desenvolvendo pesquisas em vários temas. Os Critérios Únicos Síntese são os métodos que são usualmente empregados, devido a compreensão mais acessível. Porém, outras abordagens que utilizam do paradigma da agregação indireta também podem facilitar a construção de modelos de preferência.

Os principais achados são o aumento gradativo do uso SIG-AMD em problemas de gerenciamento energético, destacando as contribuições para o gerenciamento de energia solar e eólica. A acessibilidade de aplicativos *online* permitiu o avanço em modelos de decisão que atuam com vários decisores distantes geograficamente. Entretanto, notou-se que este emprego ainda necessita de estruturas metodológicas fundamentadas para o tema. Finalmente, se enfatiza a necessidade em avançar em tema conjuntos como: geoestatística, *bigdata*, sensoriamento remoto e GIS participativo.

Os resultados obtidos com a revisão bibliométrica, permitiram identificar que pouco ainda havia sido feito em pesquisas com modelos com o paradigma da agregação indireta. A vantagem em usar estes modelos é dar a oportunidade ao decisor de obter escolhas globais em relação às alternativas e suas preferências. Além disso, este tipo de abordagem está associado com a aprendizagem de preferências. Então, foi proposto um modelo de decisão para SIG-AMD considerando dados reais. O desenvolvimento do modelo foi realizado para um caso de segurança pública, sendo esta outra área que ainda carece de estudo.

O modelo foi aplicado na cidade do Recife, estado de Pernambuco. Foi usado um método de decisão, o DRSA, que agrega as informações de preferência, representadas por alternativas de referência e classificadas em classes ordenadas para retornar com um modelo compatível com as informações do decisor. Para o estudo foi considerado os crimes do tipo homicídio. Esta compatibilidade é alcançada por regras de decisão que são geradas. Esta abordagem é caracterizada como um processo de aprendizagem de preferências. O objetivo foi classificar as regiões em relação ao nível de vulnerabilidade à violência.

Os resultados obtidos mostraram que as alternativas classificadas como mais vulneráveis continham os índices mais baixos com relação aos critérios usados. Estes critérios correspondem a dados sociais e econômicos e servem de indicadores em políticas de segurança pública. Ao final, estas alternativas com os piores desempenhos podem ser consideradas como prioritárias em políticas de segurança pública, mitigando o problema da violência.

A exploração de um modelo baseado no paradigma da agregação indireta era necessária em um caso de segurança pública porque as decisões tomadas nem sempre cabem a uma única pessoa. Também houve o interesse em explorar a aprendizagem de preferências por uma abordagem interativa. O interesse também foi motivado para compreender como regras de decisão vindas de diferentes decisores podem ser agregadas. O intuito foi apresentar um modelo que aprenda com novas informações de preferências. Além disso, a interação de vários ciclos foi considerada no processo. Assim, uma proposta foi realizada para avaliar o processo de tomada de decisão usando o DRSA em SIG para mapear os pontos vulneráveis aos crimes violentos (homicídios).

O modelo elaborado usou a abordagem de *output* para agregar as preferências. Conjuntos individuais de exemplos de preferência são usados, gerando regras de decisão individuais com base no DRSA. Em seguida as regras obtidas são agregadas em um único conjunto de regras coletivas. Com as regras coletivas os demais exemplos são classificados. Determinadas medidas foram utilizadas para evitar problemas de inconsistência e redundância de informações.

Os resultados mostraram que é viável este tipo de aplicação. Neste problema foram consideradas informações dos critérios que estão relacionadas com crimes do tipo homicídio. As zonas mais vulneráveis apresentam baixo desempenho nos critérios. A vantagem desta modelagem foi avaliar pequenos espaços geográficos, sendo mais fáceis de identificar quais

as necessidades que podem ser usadas com intervenção de medidas de segurança. Estas intervenções podem ter caráter reativo ou proativo ao longo prazo, com relação as medidas de segurança pública.

6.2 Implicações da pesquisa

Esta pesquisa teve impacto direto com relação ao tema SIG-AMD. O caráter exploratório das informações permitiu mostrar como o assunto continua com um número crescente de publicações, em várias áreas de pesquisa. Além disso, foi mostrado como existe uma predominância no uso de métodos de Critério Único de Síntese, e como consequência expandiu o emprego SIG-AMD nestes mais variados tipos de problema. Por outro lado, diferentes abordagens multicritério também são interessantes, mas carecem ainda de aplicações estruturadas.

Com a análise bibliométrica, sistematização do tema e adotando a divisão das áreas, mostrou-se como ainda existem temas emergentes. Atualmente, os trabalhos se voltam para assuntos relativos aos impactos ambientais e o uso de modelos SIG-AMD tem tomado isso em consideração significativa. Isto pode ser provado pelos resultados com relação aos temas que foram explorados, resultando no crescimento em gerenciamento energético e conservação do ambiente. Outro destaque foi o emprego de novas fontes de dados, como futuras informações. Assim, foi observado que os estudos têm feito uso de dados oriundos de sensoriamento remoto, devido a flexibilidade para aquisição e transformação para novas informações.

Por fim, a análise aprofundada sobre SIG-AMD permitiu identificar temas que são promissores para o futuro. O uso da geoestatística é um assunto relevante que pode ser integrado com SIG-AMD para gerar novas contribuições. O uso de dados, com fontes em sensoriamento remoto também são cada vez mais interessantes. Primeiro, permite gerar diferentes tipos de informações, a partir de uma única base de dados. Segundo, permite um estudo espacial detalhado, devido ser um dado que é tratado no formato *raster*. O terceiro tema emergente é o que tange o tratamento de grandes volumes de dados, cada vez mais frequente. Portanto, estruturar novos procedimentos que levem isso em consideração é um campo ainda a ser explorado.

As outras implicações dizem respeito a construção e estruturação de modelos para o caso de segurança pública. Conforme já reportado, um dos *gaps* na pesquisa literária sobre SIG-AMD foi a não expansão de métodos multicritério que envolvessem o uso de

informações indiretas. Ou seja, modelos que utilizam informações previamente conhecidas para a geração de informações de preferências compatíveis para serem usados em outros conjuntos de dados. Assim, o uso dessa abordagem com informações espaciais se torna um campo promissor para modelos de decisão espacial. Além disso, uma área de pesquisa que pode contar com a colaboração destes tipos de modelo, é o setor de segurança pública.

O primeiro modelo usando regras de decisão pode auxiliar na classificação de áreas vulneráveis em termos da ausência de segurança pública. Os resultados foram destaque, pois as regiões alocadas como mais vulneráveis, também apresentaram características com relação a vulnerabilidade. Isso inclui, condições precárias de moradia, características demográficas e econômicas. Assim, os resultados provenientes, podem ser usados como apoio para decisões relativas a políticas de segurança pública, como políticas sociais, trazendo benefícios e melhor qualidade de vida para os habitantes da região.

O modelo que agrega múltiplas preferências trouxe o impacto com relação a estruturação de um problema envolvendo vários participantes. O ponto de discussão diz respeito as decisões tomadas no campo de segurança pública, dependem de vários especialistas no assunto. Ou mesmo, pessoas com o conhecimento tácito sobre o tema. Assim, foi mostrado como a construção do modelo é viável, permitindo identificar pequenos espaços que possuem características vulneráveis com relação a violência.

6.3 Limitações

Esta pesquisa também apresentou limitações com relação aos temas explorados. Primeiro, foi usada uma base de dados para coleta bibliométrica, o que implica afirmar que isto limitou o número de artigos e revistas que foram publicados. Porém, devido a relevância da base ISI, apenas esta foi considerada, além do número de artigos listado ter sido maior do que a revisão da literatura feita por Malczewski (2006a) e que usou mais base de dados. Outra limitação, que impediu explorar outras bases, foi à falta de padronização dos dados fornecidos pelas mesmas. Isto implica na busca de tratamento específicos para dados brutos, com a finalidade de homogeneizar as informações a serem tratados.

A segunda limitação com relação a bibliometria, foi que as informações fornecidas pela base de dados ISI passam por constantes atualizações. Em um nível macro isto não altera os resultados, com relação ao número de publicações, países dos autores, áreas de pesquisa e métrica bibliométricas. Mas, em uma análise detalhada, novos trabalhos publicados talvez não tenham sido contabilizados na relação dos estudos.

Com relação à modelagem do caso de segurança pública, as limitações dizem respeito à construção do modelo e sua representação com a realidade. Primeiro, o modelo ainda carece de informações mais atualizadas sobre as características da criminalidade da região de aplicação. Recife é a segunda maior capital da região nordeste, possuindo atratividade em diversos segmentos: negócios, indústrias, setor portuário e turismo. Por isso, há a preocupação com relação a informações atualizadas que possam ser usadas como *input* para modelar este tipo de problema foi uma das limitações desta fase da pesquisa.

A outra limitação diz respeito ao uso dos dados que foram usados na construção dos resultados. As informações relativas aos dados sociais e econômicos provêm de institutos nacionais que realizam esta coleta, porém são informações colhidas em determinados intervalos de tempo e isso dificulta a caracterização no momento em que o estudo foi realizado. Portanto, sugere-se como alternativa a própria atualização dos dados obtidos.

Em relação ao tema de aplicação desta tese, ocorreram poucos estudos na literatura, evidenciado pela própria busca bibliométrica realizada. Embora, para o tema de aplicação, outras bases foram consideradas, o assunto segurança pública, criminalidade e análise multicritério ainda é pouco difundido. Isto dificulta no momento de obter informações para construção do modelo, escolha do método e tipo de avaliação. Por outro lado, entende-se que este tipo de análise busca resultados que possam auxiliar na identificação de áreas vulneráveis, sendo um tema promissor em pesquisas futuras.

6.4 Sugestões para estudos futuros

Finalmente, algumas sugestões podem ser feitas para estudos futuros. Primeiro, uma nova busca com relação à pesquisa bibliométrica em outras bases científicas. Isto permitiria comparar se há semelhanças com relação aos resultados encontrados no presente estudo, incluindo as áreas identificadas: autores, países e formação de grupos de pesquisa. Como continuidade também pretende-se manter a constante atualização da base literária usada neste estudo como forma de acompanhar o desenvolvimento do tema.

Os resultados obtidos com a bibliometria podem ser inseridos no modelo de segurança pública. Como estudo futuro, o uso de aplicativos *online* com características participativas de usuários, como forma de gerar informações na construção de modelos de segurança pública. Destaca-se que este tipo de abordagem viabiliza a opinião de pessoas que de fato vivem a realidade dos locais afetados pelo problema da violência.

Ainda com relação as pesquisas em segurança pública, outros estudos podem ser sugeridos no tange a obtenção de novas informações. Atualmente, existem diferentes tipos de delitos e caracterizados na literatura, então dados com maiores detalhamentos (horas, coordenadas, tipo de ação violenta), podem auxiliar neste processo de tomada de decisão. Esta acessibilidade proporcionaria novas pesquisas no tema.

Finalmente, sugerem-se novos avanços no tema multicritério e análise geográfica. Por ser um tema crescente, recomendar-se o emprego de sistemas dinâmicos. Além de englobar dados multicritério, as informações podem ser acompanhadas em tempo real e com prospecção de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, S.; PRADHAN, B.; JEBUR, M. N. GIS-based sustainable city compactness assessment using integration of MCDM, Bayes theorem and RADAR technology. **Geocarto International**, 30(4): 365–387, 2014.
- ABUDEIF, A. M.; ABDEL MONEIM, A. A.; FARRAG, A. F. Multicriteria decision analysis based on analytic hierarchy process in GIS environment for siting nuclear power plant in Egypt. **Annals of Nuclear Energy**, 75: 682–692, 2015.
- ADIAT, K. A. N.; NAWAWI, M. N. M.; ABDULLAH, K. Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool - A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. **Journal of Hydrology**, 440–441: 75–89, 2012.
- AFIFY, A. Prioritizing desalination strategies using multi-criteria decision analysis. **Desalination**, 250(3): 928–935, 2010.
- AGARWAL, R.; GARG, P. K. Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique. **Water Resources Management**, 30(1): 243–260, 2016.
- AGOSTINI, P. et al. Regional risk assessment for contaminated sites Part 3: Spatial decision support system. **Environment International**, 48: 121–132, 2012.
- AHMADISHARAF, E.; KALYANAPU, A. J.; CHUNG, E. S. Evaluating the Effects of Inundation Duration and Velocity on Selection of Flood Management Alternatives Using Multi-Criteria Decision Making. **Water Resources Management**, 29(8): 2543–2561, 2015.
- AHMED, N. S. S.; ACHARJYA, D. P. Detection of Denial of Service Attack in Wireless Network using Dominance based Rough Set. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, 6(12): 267–278, 2015.
- AKGUN, A.; DAG, S.; BULUT, F. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. **Environmental Geology**, 54(6): 1127–1143, 2008.
- AKGUN, A.; TÜRK, N. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. **Environmental Earth Sciences**, 61(3): 595–611, 2010.
- ALTAF, S.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. **Environmental Monitoring and Assessment**, 186(12): 8391–8412, 2014.
- ALVARADO, A. et al. Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. **Water Resources Management**, 30(4): 1549–1566, 2016.

- AL-YAHYAI, S. et al. Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. **Renewable Energy**, 44: 80–87, 2012.
- AMIRI, M. J. et al. OWA analysis for ecological capability assessment in watersheds. **International Journal of Environmental Research**, 7(1): 241–254, 2013.
- ANAGNOSTOPOULOS, K.; VAVATSIKOS, A. Site Suitability Analysis for Natural Systems for Wastewater Treatment with Spatial Fuzzy Analytic Hierarchy Process. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 138(2): 125–134, 2012.
- ANANE, M. et al. 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**, 65: 36–46, 2012.
- ANDRESEN, M. A. **Environmental criminology: evolution, theory, and practice**. 1. New York, Routledge Taylor & Francis Group, 2014, 264p.
- ANDRESEN, M. A. Unemployment, business cycles, crime, and the Canadian provinces. **Journal of Criminal Justice**, 41(4): 220–227, 2013.
- ANOHI, K. A. et al. Demarcation of protection perimeters for surface waters of Taabo (Ivory coast) watershed using gis and multicriteria analysis. **Environmental Engineering and Management Journal**, 11(12): 2123–2131, 2012.
- ARDESHIR, A. et al. Selection of a Bridge Construction Site Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process in Geographic Information System. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 39(6): 4405–4420, 2014.
- ARMAŞ, I. Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. **Natural Hazards**, 63(2): 1129–1156, 2012.
- AUGERI, M. G.; COZZO, P.; GRECO, S. Dominance-based rough set approach: An application case study for setting speed limits for vehicles in speed controlled zones. **Knowledge-Based Systems**, (89): 288–300, 2015.
- AYDI, A. et al. Assessment of land suitability for olive mill wastewater disposal site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC in a GIS. **Environmental Monitoring and Assessment**, 188(1): 1–13, 2016.
- AZEVÊDO, V.; CANDEIAS, A. L.; TIBA, C. Location Study of Solar Thermal Power Plant in the State of Pernambuco Using Geoprocessing Technologies and Multiple-Criteria Analysis. **Energies**, 10(7): 1042-1065, 2017.
- AZIZI, A.; MALEKMOHAMMADI, B. Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment : case study of Ardabil province, Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, 186(10): 6695–6709, 2014.
- BAGLI, S.; GENELETTI, D.; ORSI, F. Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. **Environmental Impact Assessment Review**, 31(3): 234–239, 2011.

- BAHRANI, S. et al. Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS , case study: Shabestar, Iran. **Environmental Earth Sciences**, 75(337): 1-14, 2016.
- BARBOSA, M. A.; RODRIGUES, M. A. Da S. **Geoprocessamento – A ferramenta para enfrentar a desordem, o crime e a violência**, 2017.
- BARIS, K. et al. A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. **Utilities Policy**, 37: 86–96, 2015.
- BEHESHTIFAR, S.; ALIMOAHHMADI, A. A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics. **International Transactions in Operational Research**, 22(2): 313–328, 2015.
- BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, 200(1): 198–215, 2010.
- BELL, N.; SCHUURMAN, N.; HAYES, M. V. Using GIS-based methods of multicriteria analysis to construct socio-economic deprivation indices. **International Journal of Health Geographics**, 6(1): 17, 2007.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**, 1 London, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BŁASZCZYŃSKI, J.; GRECO, S.; SŁOWIŃSKI, R. Multi-criteria classification – A new scheme for application of dominance-based decision rules. **European Journal of Operational Research**, 181(3): 1030–1044, set. 2007.
- BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. **Computers & Geosciences**, 34(4): 399–410, abr. 2008.
- BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. **Computers, Environment and Urban Systems**, 34(4): 322–332, 2010a.
- BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. **Computers and Geosciences**, 36(3): 302–312, 2010b.
- BOUZAYANE, S.; SAAD, I. Rough set-based argumentative approach to support collaborative multicriteria knowledge classification. **Journal of Decision Systems**, 23(2): 167-189, 2014
- BRAGA, A.; PAPACHRISTOS, A. V.; HUREAU, D. M. The Effects of Hot Spots Policing on Crime: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. **Justice Quarterly**, 31: 633–663, 2012.
- BRAGA, G. E.; JUNQUEIRA, R. M. R. Methodology for Planning Tower Leg Foundations Corrosion Maintenance of Overhead Transmission Lines Based on GIS. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 31(4): 1601–1608, 2016.

- BRAGGE, J. et al. Scholarly Communities of Research in Multiple Criteria Decision Making: a Bibliometric Research Profiling Study. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 11(2): 401–426, 2012.
- BRODY, S. D. et al. Identifying potential conflict associated with oil and gas exploration in Texas state coastal waters: A multicriteria spatial analysis. **Environmental Management**, 38(4): 597–617, 2006.
- BROWNING, C. R. et al. Commercial Density, Residential Concentration, and Crime: Land Use Patterns and Violence in Neighborhood Context. **Journal of Research in Crime and Delinquency**, 47(3): 329–357, 2010.
- BRUNSDON, C.; CORCORAN, J.; HIGGS, G. Visualising space and time in crime patterns: A comparison of methods. **Computers, Environments and Urban Analysis**, 31(1) 52–75, 2007.
- CABRERA-BARONA, P. et al. A multi-criteria spatial deprivation index to support health inequality analyses. **International Journal of Health Geographics**, 14(11): 1-14, 2015.
- CAMACHO-COLLADOS, M.; LIBERATORE, F.; ANGULO, J. M. A multi-criteria Police Districting Problem for the efficient and effective design of patrol sector. **European Journal of Operational Research**, 246(2): 674–684, 2015.
- CARTER, B.; RINNER, C. Locally weighted linear combination in a vector geographic information system. **Journal of Geographical System**, 16(3): 343–361, 2014.
- CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, 5(3): 321–339, 1991.
- ÇETINKAYA, C. et al. GIS-based fuzzy MCDA approach for siting refugee camp: A case study for southeastern Turkey. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 18: 218-231, 2016.
- CHAKHAR, S.; ISHIZAKA, A.; LABIB, A.; SAAD, I. Dominance-based rough set approach for group decisions. **European Journal of Operational Research**, 251(1): 206-224, 2016
- CHAKHAR, S.; MOUSSEAU, V. An algebra for multicriteria spatial modeling. **Computers, Environment and Urban Systems**, 31(5): 572–596, 2007.
- CHAKHAR, S.; MOUSSEAU, V. GIS - based multicriteria spatial modeling generic framework. **International Journal of Geographical Information Science**, 22(11–12): 1159–1196, 2010.
- CHAKHAR, S.; SAAD, I. Dominance-based rough set approach for groups in multicriteria classification problems. **Decision Support Systems**, 54(1): 372–380, 2012.
- CHANG, N. B; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of Environmental Management**, 87(1): 139–153, 2008.
- CHEN, C. R.; HUANG, C. C.; TSUEI, H. J. A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection. **International Journal of Photoenergy**, 2014: 1-10, 2014.

- CHEN, H. et al. Uncertainty analysis in a GIS-based multi-criteria analysis tool for river catchment management. **Environmental Modelling and Software**, 26(4): 395–405, 2011.
- CHEN, Y.; KILGOUR, D. M.; HIPEL, K. W. A decision rule aggregation approach to multiple criteria-multiple participant sorting. **Group and Decision Negotiation**, 21:727-745, 2012.
- CHEN, Y.; PAYDAR, Z. Evaluation of potential irrigation expansion using a spatial fuzzy multi-criteria decision framework. **Environmental Modelling and Software**, 38: 147–157, 2012.
- CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. **Environmental Modelling and Software**, 25(12): 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 and Software**, 48: 129–140, 2013.
- CHENINI, I.; MAMMOU, A. BEN; MAY, M. EL. Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: A case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). **Water Resources Management**, 24(5): 921–939, 2010.
- CHOW, T. E.; SADLER, R. The consensus of local stakeholders and outside experts in suitability modeling for future camp development. **Landscape and Urban Planning**, 94(1): 9–19, 2010.
- CHOWDARY, V. M. et al. Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. **Water Resources Management**, 27(10): 3555–3571, 2013.
- CHOWDHURY, A.; JHA, M. K.; CHOWDARY, V. M. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. **Environmental Earth Sciences**, 59(6): 1209–1222, 2010.
- CINELLI, M. et al. A green chemistry-based classification model for the synthesis of silver nanoparticles. **Green Chem.**, 17(5): 2825–2839, 2015.
- COELHO, A. C.; LABADIE, J. W.; FONTANE, D. G. Multicriteria Decision Support System for Regionalization of Integrated Water Resources Management. **Water Resources Management**, 26(5): 1325–1346, 2012.
- COLAK, E. H.; MEMISOGLU, T. a Gis-Based Modelling of Environmental Pollutants Using Ahp-Multicriteria Decision Analysis in the Degirmendere Valley of Trabzon Province, Turkey. **Fresenius Environmental Bulletin**, 24(4A): 1446–1455, 2015.
- COMBER, A. et al. Different methods, different wilds: Evaluating alternative mappings of wildness using fuzzy MCE and Dempster-Shafer MCE. **Computers, Environment and Urban Systems**, 34(2): 142–152, 2010.

- COMINO, E. et al. The combined use of Spatial Multicriteria Evaluation and stakeholders analysis for supporting the ecological planning of a river basin. **Land Use Policy**, 58: 183–195, 2016.
- COUTINHO-RODRIGUES, J.; SIMÃO, A.; ANTUNES, C. H. A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. **Decision Support Systems**, 51(3): 720–726, 2011.
- CRUZ, J. M. Criminal violence and democratization in Central America: The survival of the violent state. **Latin American Politics and Society**, 53(4): 1–33, 2011.
- DAI, W.; RATICK, S. J. Integrating a Raster Geographical Information System with Multi-Objective Land Allocation Optimization for Conservation Reserve Design. **Transactions in GIS**, 18(6): 936–949, 2014.
- DE ALMEIDA, A. T. et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, 250(1):179–191, 2016.
- DE ALMEIDA, A. T.; FERREIRA, R. J. P.; CAVALCANTE, C. A. V. A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. **IMA Journal of Management Mathematics**, 26(3): 249–271, 2015.
- DE ALMEIDA. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio à decisão**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2011.
- DE ANDRADE, E. D. V.; CARNEIRO, A. F. T. A elaboração de documentos cartográficos sob a ótica do mapeamento participativo. **Boletim de Ciências Geodesicas**, 15(3): 410–427, 2009.
- DE LIMA, R. M. et al. Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. **IET Generation, Transmission & Distribution**, 10(16): 4222–4230, 2016.
- DELAVAR, M. R.; MORADI, M.; MOSHIRI, B. Earthquake Vulnerability Assessment for Hospital Buildings Using a Gis-Based Group Multi Criteria Decision Making Approach: a Case Study of Tehran, Iran. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, (XL-1-W5): 153–157, 2015.
- DEMBCZYŃSKI, K.; KOTŁOWSKI, W.; SŁOWIŃSKI, R.; SZELAZG, M. Learning of rule ensembles for multiple attribute ranking problems, In: J. Fürnkranz, E. Hüllermeier (Eds.), **Preference Learning**, Springer, Berlin Heidelberg, 2010, pp. 217–247.
- DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis : A review of the methodologies performed and criteria implemented. **Waste Management & Research**, 32(4): 270-296, 2014.
- DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Spatial UTA (S-UTA) e A new approach for raster-based GIS multicriteria suitability analysis and its use in

implementing natural systems for wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, 125: 41–54, 2013a.

DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. **Waste Management**, 33(5): 1190–1206, 2013b.

DEVIA, N.; WEBER, R. Generating crime data using agent-based simulation. **Computers, Environment and Urban Systems**, 42: 26–41, 2013.

DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: the VIP analysis software. **Journal of the Operational Research Society**, 51: 1070-1081, 2000.

DOS SANTOS, J. C.; DE FARIAS, E. S.; CARNEIRO, A. F. T. Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, 19(4): 574–587, 2013.

DUBOVYK, O.; MENZ, G.; KHAMZINA, A. Land suitability assessment for afforestation with *Elaeagnus angustifolia* L. in degraded agricultural areas of the lower amudarya river basin. **Land Degradation & Development**, 27(8): 1831–1839, 2016.

EASTMAN, R. et al. Raster procedure for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 61(5): 539–547, 1995.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Method of Multiattribute Utility Measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, 60(3): 306-325, 1994.

EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R.; GRECO, S. **Trends in Multiple Criteria Decision Analysis**. New York, Springer-Verlag US, 2010, 412p.

EKMEKCIOGLU, M.; KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. **Waste Management**, 30(8–9): 1729–1736, 2010.

ELAALEM, M.; COMBER, A.; FISHER, P. A Comparison of Fuzzy AHP and Ideal Point Methods for Evaluating Land. **Transactions in GIS**, 15(3): 329–346, 2011.

ELDEMIR, F.; ONDEN, I. Geographical Information Systems and Multicriteria Decisions Integration Approach for Hospital Location Selection. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 15: 1–23, 2016a.

ELDRANDALY, K. A.; ABDELAZIZ, N. M. Enhancing ArcGIS decision making capabilities using an intelligent multicriteria decision analysis toolbox. **Journal of Environmental Informatics**, 20(1): 44–57, 2012.

ELMAHDY, S. I.; MOHAMED, M. M. Fuzzy logic and multi-criteria methods for groundwater potentiality mapping at Al Fo'ah area, the United Arab Emirates (UAE): an integrated approach. **Geocarto International**, 6049: 1–47, 2016.

ERİŞKİN, L.; KÖKSAL, G. Interactive and nonparametric modeling of preferences on an ordinal scale using small data. **Expert Systems with Applications**, 65: 345-360, 2016.

- EROĞLU, H.; AYDIN, M. Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, 23: 1418–1430, 2015.
- ESKANDARI, M.; HOMAEE, M.; MAHMUDI, S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. **Waste Management**, 32(8): 1528–1538, 2012.
- ESMAELIAN, M. et al. A multicriteria spatial decision support system for solving emergency service station location problems. **International Journal of Geographical Information Science**, 29(7): 1187-1213, 2015.
- FAJNZYLBER, P.; LEDERMAN, D.; LOAYZA, N. What Causes Violent Crime? **European Economic Review**, 46(7): 1323–1357, jul. 2002.
- FEALY, R. M. et al. The Irish agricultural catchments programme: Catchment selection using spatial multi-criteria decision analysis. **Soil Use and Management**, 26(3): 225–236, 2010.
- FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. **International Journal of Geographical Information Science**, 28(3): 610–638, 2014.
- FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. **Natural Hazards**, 65(3): 2105–2128, 2013.
- FEIZIZADEH, B.; JANKOWSKI, P.; BLASCHKE, T. A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis. **Computers and Geosciences**, 64: 81–95, 2014.
- FEO, G. DE; GISI, S. DE. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. **Waste Management**, 34(11): 2225–2238, 2014.
- FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucum?n Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, 111(1–4): 90–98, 2010.
- FERNÁNDEZ, I. C.; MORALES, N. S. A spatial multicriteria decision analysis for selecting priority sites for plant species restoration: a case study from the Chilean biodiversity hotspot. **Restoration Ecology**, 24(5): 599-608, 2016.
- FIGUEIREDO, C. J. J.; MOTA, C. M. D. M. A classification model to evaluate the security level in a city based on GIS-MCDA. **Mathematical Problems in Engineering**, 2016: 1-11, 2016.
- FIGUEIREDO, C. J. J.; PEREIRA, D. V. E. S. ; MOTA, C. M. M. . Classification of vulnerable areas using Dominance-based Rough Set Approach. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2016, Budapest. **Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, 2016.

FIGUEIREDO, C. J. J.; PEREIRA, D. V. S.; MOTA, C. M. M. Multi-Criteria Approach with Spatial Analysis and Remote Sensing for Public Security Planning. **Journal for Geographic Information Science**, 2(2): 164-172, 2017.

FIGUEIREDO, C. J. J.; MOTA, C. M. M. ; PEREIRA, D. V. S. . Classification of areas using a multiple criteria approach for a public security problem. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2015, Singapore. **Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, :524-528., 2015.

FISHER, P. Editorial Citations to the International Journal of Geographical Information Systems and Science : the first 10 years. **International Journal of Geographical Information Systems and Science**, 15(1): 1–6, 2001.

FOKAIDES, P. A. et al. Sustainability aspects of energy crops in arid isolated island states: The case of Cyprus. **Land Use Policy**, 49: 264–272, 2015.

FRANCO, C. et al. A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants. **Applied Energy**, 140: 304–315, 2015.

FRANK, R.; ANDRESEN, M. A.; FELSON, M. The geodiversity of crime : Evidence from British Columbia. **Applied Geography**, 34, 180–188, 2012.

GDOURA, K.; ANANE, M.; JELLALI, S. Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water. **Resources, Conservation and Recycling**, 104: 19–30, 2015.

GENELETTI, D.; VAN DUREN, I. Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, 85(2): 97–110, 2008.

GLÄNZEL, W. Coauthorship patterns and trends in the sciences (1980-1998): a bibliometric study with implications for database indexing and search strategies. **Library Trends**, 50(3): 461-473, 2002.

GOMEZ-JAUREGUI, V. et al. Information management and improvement of citation indices. **International Journal of Information Management**, 34(2): 257–271, 2014.

GOODCHILD, M. F. **What is Geographic Information Science?** NCGIACore Curriculum in GIScience. <http://www.ncgia.ncsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>, publicado em 7 de Outubro de 1997, 1997. Acesso em 12/12/2017.

GOODCHILD, M. F. ; JANELLE, D. G. **Spatially integrated social science**. New York: Oxford University Press, 2004.

GOODCHILD, M. F. Geographical information science. **International journal of geographical information systems**, 6(1): 31–45, 1992.

GOODCHILD, M. F. GIScience: geography, form, and process. **Annals of the Association of American Geographers**, 94(4): 709–714, 2004.

GOODCHILD, M. F. Issues in spatially explicit modeling. In: **report and review of an international workshop agent-based models of land-use and land-cover change**, XI, Irvine, California., 2001. Proceedings

GORR, W.; OLLIGSCHLAEGER, A.; THOMPSON, Y. Short-term Forecasting of Crime. **International Journal of Forecasting**, 19(4): 579–594, 2003.

GORSEVSKI, P. V et al. An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. **Control and Cybernetics**, 35(1): 121–146, 2006.

GORSEVSKI, P. V et al. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection : A case study using ordered weighted average. **Waste Management**, 32(2): 287–296, 2012.

GORSEVSKI, P. V. et al. A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio. **Energy Policy**, 55: 374–385, 2013.

GORSEVSKI, P. V.; JANKOWSKI, P. Discerning landslide susceptibility using rough sets. **Computers, Environment and Urban Systems**, 32(1): 53–65, 2008.

GORSEVSKI, P.; JANKOWSKI, P. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and Kalman filter. **Computers & Geosciences**, 36(8): 1005–1020, 2010.

GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, 250(1): 1-29, 2016.

GRAYSON, R. et al. A GIS based MCE model for identifying water colour generation potential in UK upland drinking water supply catchments. **Journal of Hydrology**, 420–421: 37–45, 2012.

GRECO S., MATARAZZO B., SŁOWIŃSKI R. Dominance-Based Rough Set Approach to Interactive Multiobjective Optimization. In: BRANKE J., DEB K., MIETTINEN K., SŁOWIŃSKI R. (ed.) **Multiobjective Optimization. Lecture Notes in Computer Science**, vol 5252. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

GRECO S., MATARAZZO B., SŁOWIŃSKI R. Fuzzy Set Extensions of the Dominance-Based Rough Set Approach. In: BUSTINCE H., HERRERA F., MONTERO J. (ed) **Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models. Studies in Fuzziness and Soft Computing**, vol 220. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

GRECO, S. et al. An algorithm for induction of decision rules consistent with the dominance principle. In: HUTCHISON, D. et al. **Lecture Notes in Computer Science**, New York, Springer, 2001

GRECO, S. et al. Global investing risk: a case study of knowledge assessment via rough sets. **Annals of Operations Research**, 185(1): 105-138, 2011

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, New York, Springer, 2016, 1347p.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. Dominance-Based Rough Set Approach to Decision Involving Multiple Decision Makers. In: Greco S. et al. (eds) **Rough Sets and Current Trends in Computing**. RSCTC 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 4259. Springer, Berlin, Heidelberg.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. Dominance-based rough set approach on pairwise comparison tables to decision involving multiple decision makers. In: Yao J., Ramanna S., Wang G., Suraj Z. (eds) **Rough Sets and Knowledge Technology**. RSKT 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6954. Springer, Berlin, Heidelberg.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria. **European Journal of Operational Research**, 138(2): 247–259, 2002.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. Rough sets theory for multicriteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, 129(1): 1–47, 2001.

GRECO, S.; SLOWINSKI, R.; DEMBICZYN, K. Rough set approach to multiple criteria classification with imprecise evaluations and assignments. **European Journal of Operational Research**, 198(2): 626–636, 2009.

GRECO, S.; SŁOWIŃSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. Putting Dominance-based Rough Set Approach and robust ordinal regression together. **Decision Support Systems**, 54(2): 891–903, 2013.

GUIQIN, W. et al. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP : A case study in Beijing , China. **Journal of Environmental Management**, 90(8): 2414–2421, 2009.

GÜLCI, S.; AKAY, A. E. Assessment of ecological passages along road networks within the Mediterranean forest using GIS-based multi criteria evaluation approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187(12): 1–13, 2015.

GURGEL, A. M.; MOTA, C. M. DE M. A multicriteria prioritization model to support public safety planning. **Pesquisa Operacional**, 33(2): 251–267, 2013.

HAMADOUCHE, M. A. et al. GIS-based multicriteria analysis: An approach to select priority areas for preservation in the Ahaggar National Park, Algeria. **Arabian Journal of Geosciences**, 7(2): 419–434, 2014.

HAMZEH, M.; ALI ABBASPOUR, R.; DAVALOU, R. Raster-based outranking method: a new approach for municipal solid waste landfill (MSW) siting. **Environmental Science and Pollution Research**, 22(16): 12511–12524, 2015.

HAZARIKA, N. et al. Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the Upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and Multi-Criteria Evaluation (MCE). **Journal of Flood Risk Management**, Online version, 2016.

HEYWOOD, I.; CORNELIUS, S.; CARVER, S. **An Introduction to Geographical Information Systems**. 3ed. England, Pearson Prentice Hall, 2006.

- HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proc Natl Acad Sci USA** 102: 16569–16572, 2005.
- HOBBS, B. F. A Comparison of Weighting Methods in Power Plant Siting. **Decision Sciences**, 11(4): 725–737, 1980.
- HÖFER, T. et al. Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. **Applied Energy**, 163: 222–243, 2016.
- HOSSAIN, M. S. et al. Multi-criteria evaluation approach to GIS-based land-suitability classification for tilapia farming in Bangladesh. **Aquaculture International**, 15(6): 425–443, 2007.
- HU, Q. et al. Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance-based rough set approach. **European Journal of Operational Research**, 262(3): 1136–1163, 2017.
- HUANG, B. et al. Using a rough set model to extract rules in dominance-based interval-valued intuitionistic fuzzy information systems. **Information Sciences**, 221: 215–229, 2013.
- JANKE, J. R. Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. **Renewable Energy**, v. 35, n. 10, p. 2228–2234, 2010.
- JANKOWISKI, P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. **International Journal of Geographical Information Systems**, 9(3): 251–273, 1995.
- JEIHOUNI, M. et al. An application of MC-SDSS for water supply management during a drought crisis. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187(7): 1–16, 2015.
- JELOKHANI-NIARAKI, M.; MALCZEWSKI, J. Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. **Cities**, 45: 60–70, 2015.
- JELOKHANI-NIARAKI, M.; MALCZEWSKI, J. The decision task complexity and information acquisition strategies in GIS-MCDA. **International Journal of Geographical Informatio Science**, 29(2): 327–344, 2014.
- JEONG, J. S.; GARCÍA-MORUNO, L.; HERNÁNDEZ-BLANCO, J. A site planning approach for rural buildings into a landscape using a spatial multi-criteria decision analysis methodology. **Land Use Policy**, 32: 108–118, 2013.
- JHA, M. K. et al. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, 83: 96–111, 2014.
- JHA, M. K.; CHOWDARY, V. M.; CHOWDHURY, A. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. **Hydrogeology Journal**, 18(7): 1713–1728, 2010.
- JIMÉNEZ CAPILLA, J. A.; CARRIÓN, J. A.; ALAMEDA-HERNANDEZ, E. Optimal site selection for upper reservoirs in pump-back systems, using geographical information systems and multicriteria analysis. **Renewable Energy**, 86: 429–440, 2016.

- JUN, C. Design of an intelligent geographic information system for multi-criteria site analysis. **URISA Journal**, 12(3): 5–18, 2000.
- KALLALI, H. et al. GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. **Desalination**, 215(1–3): 111–119, 2007.
- KAMUSOKO, C. et al. Rural sustainability under threat in Zimbabwe - Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. **Applied Geography**, 29(3): 435–447, 2009.
- KANG, M.-G.; LEE, G.-M. Multicriteria Evaluation of Water Resources Sustainability in the Context of Watershed Management1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, 47(4): 813–827, 2011.
- KARAMAN, H.; ERDEN, T. Net earthquake hazard and elements at risk (NEaR) map creation for city of Istanbul via spatial multi-criteria decision analysis. **Natural Hazards**, 73(2): 685–709, 2014.
- KARNATAK, H. C. et al. Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. **GeoInformatica**, 11(4): 407–429, 1 mar. 2007.
- KAVZOGLU, T.; SAHIN, E. K.; COLKESEN, I. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. **Landslides**, 11(3): 425–439, 2014.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- KIM, H. Y.; LEE, H. K. Enhanced validity and reliability of spatial decision support systems (SDSS) for sustainable transportation decision-making. **Applied Geography**, 51: 65–71, 2014.
- KINGSTON, R. et al. Web-based public participation geographical information systems: An aid to local environmental decision-making. **Computers, Environment and Urban Systems**, 24(2): 109–125, 2000.
- KONECNY, G. **Geoinformation: Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems**, London, Taylor & Francis, 2003
- KORDI, M.; BRANDT, S. A. Effects of increasing fuzziness on analytic hierarchy process for spatial multicriteria decision analysis. **Computers, Environment and Urban Systems**, 36(1): 43–53, 2012.
- KRAIAS, I. et al. Land suitability analysis for natural wastewater treatment systems using a new GIS add-in for supporting criterion weight elicitation methods. **Operational Research**, 10(1): 91–108, 2010.
- KÜHMAIER, M.; KANZIAN, C.; STAMPFER, K. Identification of potential energy wood terminal locations using a spatial multicriteria decision analysis. **Biomass and Bioenergy**, 66: 337–347, 2014.

- KUJAWINSKA, A. et al. Assessment of ductile iron casting process with the use of the DRSA method. **Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy**, 52(1): 25–34, 2016.
- KUMAR, M.; SHAIKH, V. R. Site Suitability Analysis for Urban Development Using GIS Based Multicriteria Evaluation Technique: A Case Study of Mussoorie Municipal Area, Dehradun District, Uttarakhand, India. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 41(2): 417–424, 2013.
- KUMAR, T.; GAUTAM, A. K.; JHARIYA, D. C. Multi-criteria decision analysis for planning and management of groundwater resources in Balod District, India. **Environmental Earth Sciences**, 75(649): 1-16 2016.
- KUMAR, T.; GAUTAM, A. K.; KUMAR, T. Appraising the accuracy of GIS-based Multi-criteria decision making technique for delineation of Groundwater potential zones. **Water Resources Management**, 28(13): 4449–4466, 2014.
- KUMAR, T.; JHARIYA, D. C. Land quality index assessment for agricultural purpose using multi- criteria decision analysis (MCDA). **Geocarto International**, 30(7): 822-841, 2015.
- LABIOSA, W. B. et al. An integrated multi-criteria scenario evaluation web tool for participatory land-use planning in urbanized areas: The Ecosystem Portfolio Model. **Environmental Modelling and Software**, 41: 210–222, 2013.
- LAI, S.-K.; HOPKINS, L. D. The meanings of trade-offs in multiattribute evaluation methods : a comparison. **Environment and Planning B: Planning and Design**, 16: 155–170, 1989.
- LAI, T.; DRAGIĆEVIĆ, S.; SCHMIDT, M. Integration of multicriteria evaluation and cellular automata methods for landslide simulation modelling. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, 4(4): 355–375, 2013.
- LEE, G.; JUN, K. S.; CHUNG, E. S. Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique. **Natural Hazards and Earth System Science**, 13(5): 1293–1312, 2013.
- LEITNER, M. (Ed). **Crime modeling and mapping using geospatial technologies**. Netherlands, Springer, 2013.
- LEVITT, S. D. Alternative Strategies for Identifying the Link Between Unemployment and Crime. **Journal of Quantitative Criminology**, 17(4): 377–390, 2001.
- LI, X.; LIU, X. Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation. **Journal of Environmental Management**, 85(4): 1063–1075, 2007.
- LIGMANN-ZIELINSKA A., JANKOWSKI P. A Framework for Sensitivity Analysis in Spatial Multiple Criteria Evaluation. In: Cova T.J., Miller H.J., Beard K., Frank A.U., Goodchild M.F. (Ed.) **Geographic Information Science: Lecture Notes in Computer Science**, vol 5266. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

- LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling and Software**, 57: 235–247, 2014.
- LIU, J. J. H.; TZENG, G. H. A Dominance-based Rough Set Approach to customer behavior in the airline market. **Information Sciences**, 180(11): 2230–2238, 2010.
- LIU, D. et al. Temporal stability of model parameters in crime rate analysis : An empirical examination. **Applied Geography**, 58: 141-152, 2015.
- LIU, J. P. et al. A rough set approach to analyze factors affecting landslide incidence. **Computers & Geosciences**, 37(9): 1311–1317, 2011.
- LIU, J.; LIAO, X.; YANG, J. A group decision-making approach based on evidential reasoning for multiple criteria sorting problem with uncertainty. **European Journal of Operational Research**, 246: 858–873, 2015.
- LIU, X. et al. A web-based multicriteria evaluation of spatial trade-offs between environmental and economic implications from hydraulic fracturing in a shale gas region in Ohio. **Environmental Monitoring and Assessment**, 188(6): 376, 2016.
- LIU, Y. et al. An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe. **Landscape and Urban Planning**, 82(4): 233–246, 2007.
- LOCHNER, L.; MORETTI, E. The Effect of Education on Crime : Evidence from Prison Inmates, Arrests, and Self-Reports. **The American Economic Review**, 94(1): 155–189, 2004.
- LONG, H. J. et al. An approach to rule extraction for product service system configuration that considers customer perception. **International Journal of Production Research**, 54(18): 5337–5360, 2016.
- LOUVART, L.; MEYER, P.; OLTEANU, A.-L. MODEL: a multicriteria ordinal evaluation tool for GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, 29(10): 1910–1931, 2015.
- MACARY, F. et al. A Multiple Criteria Decision Analysis Model Based on ELECTRE TRI-C for Erosion Risk Assessment in Agricultural Areas. **Environmental Modeling & Assessment**, 19(3): 221–242, 2014.
- 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**, 25(5): 1359–1386, 2011.
- MAHINY, A. S.; CLARKE, K. C. Guiding SLEUTH land-use/land-cover change modeling using multicriteria evaluation: Towards dynamic sustainable land-use planning. **Environment and Planning B: Planning and Design**, 39(5): 925–944, 2012.
- MALCZEWSKI, J. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. **Transactions in GIS**, 4(1): 5–22, 2000.

- MALCZEWSKI, J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 8(4): 270–277, 2006b.
- MALCZEWSKI, J. Review Article GIS-based multicriteria decision analysis : a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, 20(7): 703–726, 2006a.
- MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. **Multicriteria decision analysis in Geographic Information Science**, Berlin, Springer, 2015, 331p.
- MALEKMOHAMMADI, B.; RAMEZANI MEHRAN, M.; JAFARI, H. R. Site selection for managed aquifer recharge using fuzzy rules: integrating geographical information system (GIS) tools and multi-criteria decision making. **Hydrogeology Journal**, 20(7): 1393–1405, 2012.
- MALLESON, N.; BIRKIN, M. Analysis of crime patterns through the integration of an agent-based model and a population microsimulation. **Computers, Environment and Urban Systems**, 36(6): 551–561, 2012.
- MALLESON, N.; HEPPENSTALL, A.; SEE, L. Computers , Environment and Urban Systems Crime reduction through simulation : An agent-based model of burglary. **Computers, Environment and Urban Systems**, 34(3): 236–250, 2010.
- MANDAL, U. et al. Delineation of Groundwater Potential Zones of Coastal Groundwater Basin Using Multi-Criteria Decision Making Technique. **Water Resources Management**, 30(12): 4293–4310, 2016.
- MARC, Y. C. D.; KEITH, K. A Decision Rule Aggregation Approach to Multiple Criteria-Multiple Participant Sorting. **Group Decision and Negotiation**, 21(5): 727–745, 2012.
- MARINONI, O. Benefits of the combined use of stochastic multi-criteria evaluation with principal components analysis. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 20(5): 319–334, 2006.
- MASSEI, G. et al. Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture. **Journal of Environmental Management**, 146(15): 491–504, 2014.
- MATEJICEK, L. Multicriteria analysis for sources of renewable energy using data from remote sensing. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XL-7/W: 889-896, 2015.
- MEKONNEN, A. D.; GORSEVSKI, P. V. A web-based participatory GIS (PGIS) for offshore wind farm suitability within Lake Erie, Ohio. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 41: 162–177, 2015.
- MENDAS, A.; DELALI, A. Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture : Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. **Computers and Electronics in Agriculture**, 83: 117–126, 2012.

- MENEZES, T. et al. Spatial correlation between homicide rates and inequality. **Economics Letters**, 120(1): 97–99, 2013.
- MEYER, B. C.; GRABAUM, R. MULBO: Model framework for Multicriteria Landscape Assessment and Optimisation. A support system for spatial land use decisions. **Landscape Research**, 33(2): 155–179, 2008.
- MEYER, V.; SCHEUER, S.; HAASE, D. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. **Natural Hazards**, 48(1): 17–39, 2009.
- MOEINADDINI, M. et al. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). **Waste Management**, 30(5): 912–920, 2010.
- MOGHADDAM, R. Landslide Susceptibility Mapping for the Urmia Lake basin , Iran: A multi- Criteria Evaluation Approach using GIS. **International Journal Enviromental**, 7(2): 319–336, 2013.
- MONTGOMERY, B. et al. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, 124: 340–353, 2016.
- MORRIS, S. A.; GOLDSTEIN, M. L. Manifestation of Research Teams in Journal Literature: a growth model of papers, authors, collaboration, coauthorship, weak ties, and Lotka’s law. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, 58(12):1764–1782, 2007.
- MOSADEGHI, R. et al. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. **Computers, Environment and Urban Systems**, 49: 54–65, 2015.
- MOURÃO, K. R. M. et al. Priority areas for the conservation of the fish fauna of the Amazon Estuary in Brazil: A multicriteria approach. **Ocean and Coastal Management**, 100: 116–127, 2014.
- MOUSSEAU, V.; PIRLOT, M. Preference elicitation and learning. **EURO Journal on Decision Processes**, 3:1-3, 2015.
- NAS, B. et al. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**, 160(1–4): 491–500, 2010.
- NATIVIDADE-JESUS, E.; COUTINHO-RODRIGUES, J.; ANTUNES, C. H. A multicriteria decision support system for housing evaluation. **Decision Support Systems**, 43(3): 779–790, 2007.
- NIARAKI, A. S.; KIM, K. Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach. **Expert Systems with Applications**, 36(2): 2250–2259, 2009.

- NILA REKHA, P. et al. Assessment of impact of shrimp farming on coastal groundwater using Geographical Information System based Analytical Hierarchy Process. **Aquaculture**, 448: 491–506, 2015.
- NOOROLLAHI, E. et al. Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran. **Energies**, 9(8): 643, 2016.
- NOURQOLIPOUR, R. et al. Multi-objective-based modeling for land use change analysis in the South West of Selangor, Malaysia. **Environmental Earth Sciences**, 74(5): 4133–4143, 2015.
- OMO-IRABOR, O. O. et al. Mangrove vulnerability modelling in parts of Western Niger Delta, Nigeria using satellite images, GIS techniques and Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA). **Environmental Monitoring and Assessment**, 178(1–4): 39–51, 2011.
- OTTOMANO, G. et al. Local Action Groups and Rural Sustainable Development . A spatial multiple criteria approach for efficient territorial planning. **Land Use Policy**, 59: 11-26, 2016a.
- OTTOMANO, G. et al. Using Analytic Network Process and Dominance-based Rough Set Approach for sustainable requalification of traditional farm buildings in Southern Italy. **Land Use Policy**, 59: 95–110, 2016b.
- ÖZCEYLAN, E. et al. Evaluation of freight villages: A GIS-based multi-criteria decision analysis. **Computers in Industry**, 76: 38–52, 2016.
- OZTURK, D.; BATUK, F. Implementation of gis-based multicriteria decision analysis with vb in ArcGIS. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 10(6): 1023–1042, 2011.
- PALMISANO, G. O. et al. Using Analytic Network Process and Dominance-based Rough Set Approach for sustainable requalification of traditional farm buildings in Southern Italy. **Land Use Policy**, 59: 95–110, 2016.
- PANAGOPOULOS, G. P. et al. Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS. **Water Resources Management**, 26(5): 1347–1363, 2012.
- PATINO, J. E. et al. Using remote sensing to assess the relationship between crime and the urban layout. **Applied Geography**, 55: 48–60, 2014.
- PEDRERO, F. et al. Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. **Resources, Conservation and Recycling**, 56(1): 105–116, 2011.
- PENG, L. et al. Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines : A case of the Three Gorges area, China. **Geomorphology**, 204: 287–301, 2014.

- PEREIRA, D. V. E. S.; MOTA, C. M. DE M. Human Development Index Based on ELECTRE TRI-C Multicriteria Method: An Application in the City of Recife. **Social Indicators Research**, 125(1): 19–45, 2016.
- PEREIRA, D. V. S.; MOTA, C. M. M.; ANDRESEN, M. A. Social Disorganization and Homicide in Recife, Brazil. **International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology**, 61(14): 1570-1592, 2015.
- PERPIÑA, C.; MARTÍNEZ-LLARIO, J. C.; PÉREZ-NAVARRO, Á. Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. **Land Use Policy**, 31: 326–335, 2013.
- PERSOON, O., R. DANELL, R. SCHNEIDER, W. How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. In: Åström, F. et al. **Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday**, ed, p 9–24. Leuven, Belgium: International Society for Scientometrics and Informetrics, 2009
- PETER, S. et al. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. **Applied Geography**, 36: 3–12, 2013.
- POTI, I.; GOLI, R.; JOKSIMOVI, T. Analysis of insolation potential of Knjaževac Municipality (Serbia) using multi-criteria approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 56: 235–245, 2016.
- POUREBRAHIM, S. et al. Application of VIKOR and fuzzy AHP for conservation priority assessment in coastal areas: Case of Khuzestan district, Iran. **Ocean and Coastal Management**, 98: 20–26, 2014.
- RAHMAN, M. A. et al. A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. **Journal of Environmental Management**, 99: 61–75, 2012.
- RAHMATI, O. et al. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. **Arabian Journal of Geosciences**, 8(9): 7059–7071, 2014.
- RAKOTOMANANA, F. et al. Determining areas that require indoor insecticide spraying using Multi Criteria Evaluation, a decision-support tool for malaria vector control programmes in the Central Highlands of Madagascar. **International Journal of Health Geographics**, 6(2): 1-11, 2007.
- RATTON, J. L.; GALVÃO, C.; FERNANDEZ, M. Pact for Life and the Reduction of Homicides in the State of Pernambuco. Stability: **International Journal of Security & Development**, 3(1): 1–15, 2014.
- RAWAT, S. et al. A dominance based rough set classification system for fault diagnosis in electrical smart grid environments. **Artificial Intelligence Review**, 46(3): 389–411, 2016.

- RAZANDI, Y. et al. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. **Earth Science Informatics**, 8(4): 867–883, 2015.
- REBOLLEDO, B. et al. Assessment of groundwater vulnerability to nitrates from agricultural sources using a GIS-compatible logic multicriteria model. **Journal of Environmental Management**, 171: 70–80, 2016.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 4ed. Berlin, Springer, 2006.
- ROGERSON, P.; SUN, Y. Spatial monitoring of geographic patterns : an application to crime analysis. **Computers, Environment and Urban Systems**, 25(6): 539–556, 2001.
- ROHDE, S. et al. Room for rivers: An integrative search strategy for floodplain restoration. **Landscape and Urban Planning**, 78(1–2): 50–70, 2006.
- ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**, Springer US, US, 1996.
- RYBARCZYK, G.; WU, C. Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. **Applied Geography**, 30(2): 282–293, 2010.
- SAFARI, M. et al. Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection: Case study: Sangan iron ore mine (phase 2). **Arabian Journal of Geosciences**, 5(5): 1011–1019, 2012.
- SALEH, E. et al. Learning ensemble classifiers for diabetic retinopathy assessment. **Artificial Intelligence in Medicine**, 1: 1–14, 2017.
- SÁNCHEZ-LOZANO, J. M. et al. GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. **Renewable Energy**, 66: 478–494, 2014.
- SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain. **Journal of Cleaner Production**, 127: 387–398, 2016a.
- SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods . Evaluating the case of Southeastern Spain. **Applied Energy**, 171(1): 86–102, 2016b.
- SAÑUDO, R. et al. Optimal Stopping Location of a High Speed Train using GIS and Multicriteria Decision-making. **Transactions in GIS**, 21(1): 151–168, 2017.
- SAWICKI, P.; ŻAK, J. Technical diagnostic of a fleet of vehicles using rough set theory. **European Journal of Operational Research**, 193(3): 891–903, 2009.
- SCORZAFAVE, L. G.; SOARES, M. K. Income inequality and pecuniary crimes. **Economics Letters**, 104(1): 40–42, 2009.

SEMANJSKI, I. et al. Computers , Environment and Urban Systems Spatial context mining approach for transport mode recognition from mobile sensed big data. **Computers, Environment and Urban Systems**, 66: 38–52, 2017.

ŞENER, B.; SÜZEN, M. L.; DOYURAN, V. Landfill site selection by using geographic information systems. **Environmental Geology**, 49(3): 376–388, 2006.

SHARIFI, M. et al. Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province, western Iran. **Waste Management**, 29(10): 2740–2758, 2009.

SHEKAR, S.; XIONG, H. **Encyclopedia of GIS**. 02. New York, Springer, 2017, 2507p.

SILVA, C. et al. GIS-based ecological risk assessment for contaminated sites by fish farm effluents using a multicriteria weight of evidence approach. **Aquaculture Research**, 47(2): 524–539, 2016.

SILVA, S.; ALÇADA-ALMEIDA, L.; DIAS, L. C. Biogas plants site selection integrating Multicriteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region. **Biomass and Bioenergy**, 71: 58–68, 2014a.

SILVA, S.; ALÇADA-ALMEIDA, L.; DIAS, L. C. Development of a web-based multi-criteria spatial decision support system for the assessment of environmental sustainability of dairy farms. **Computers and Electronics in Agriculture**, 108: 46–57, 2014b.

SŁOWIŃSKI, R.; GRECO, S.; MATARAZZO, B. Rough Set and Rule-Based Multicriteria Decision Aiding. **Pesquisa Operacional**, 32(2): 213–269, 2012.

SOBRIE, O.; MOUSSEAU, V.; PIRLOT, M. Learning monotone preferences using a majority rule sorting model. **International Transactions in Operational Research**, *Disponível online*, 2018.

SPICER, V. et al. Bars on blocks: A cellular automata model of crime and liquor licensed establishment density. **Computers, Environment and Urban Systems**, 36(5): 412–422, 2012.

STECCHI, F. et al. Vulnerability to ground deformation phenomena in the city of Tuzla (BiH): A GIS and multicriteria approach. **Natural Hazards**, 64(3): 2153–2165, 2012.

STELZENMÜLLER, V. et al. Quantifying cumulative impacts of human pressures on the marine environment: A geospatial modelling framework. *Marine Ecology Progress Series*, 398: 19–32, 2009.

STRAGER, M. P.; ROSENBERGER, R. S. Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA. **Ecological Economics**, 58(1): 79–92, 2006.

SUH, J.; BROWNSON, J. R. S. Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island, Korea. **Energies**, 9(8): 1-24, 2016.

- SUJATHA, E. R.; RAJAMANICKAM, G. V. Landslide Hazard and Risk Mapping Using the Weighted Linear Combination Model Applied to the Tevankarai Stream. **An International Journal Human and Ecological Risk Assessment**, 21(6): 1445-1461, 2014.
- SUN, B.; MA, W. Rough approximation of a preference relation by multi-decision dominance for a multi-agent conflict analysis problem. **Information Sciences**, 315: 39–53, 2015.
- SURYABHAGAVAN, K. V.; ALEMU, M.; BALAKRISHNAN, M. Gis-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: A case study in Harena forest, southwestern Ethiopia. **Tropical Ecology**, 57(1): 33–43, 2015.
- SZELAG, M.; GRECO, S.; SŁOWIŃSKI, R. Variable consistency dominance-based rough set approach to preference learning in multicriteria ranking. **Information Sciences**, 277: 525-552, 2014.
- TAHRI, M.; HAKDAOUI, M.; MAANAN, M. The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 51: 1354–1362, 2015.
- TANG, Z. et al. Developing a restorable wetland index for Rainwater Basin wetlands in south-central Nebraska: A multi-criteria spatial analysis. **Wetlands**, 32(5): 975–984, 2012.
- TAVARES, G.; ZSIGRAIOVÁ, Z.; SEMIAO, V. Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. **Waste Management**, 31(9–10): 1960–1972, 2011.
- TAVARES-PEREIRA, F. et al. Multiple criteria districting problems: The public transportation network pricing system of the Paris region. **Annals of Operations Research**, 154(1): 69–92, 2007.
- TEGOU, L.-I.; POLATIDIS, H.; HARALAMBOPOULOS, D. A. A Multi-Criteria Framework for an Isolated Electricity System Design with Renewable Energy Sources in the Context of Distributed Generation: The Case Study of Lesbos Island, Greece. **International Journal of Green Energy**, 9(3): 256–279, 2012.
- TEIXEIRA, J. et al. A comprehensive analysis of groundwater resources using GIS and multicriteria tools (Caldas da Cavaca, Central Portugal). **Environmental Earth Sciences**, 73(6): 2699–2715, 2015.
- TESFAMARIAM, B.; FANG, Q. Zoning for a multiple-use marine protected area using spatial multi-criteria analysis : The case of the Sheik Seid Marine National Park in Eritrea. **Marine Policy**, 63: 135–143, 2016.
- THE WORLD BANK. **Violence in the City**: Understanding and Supporting Community Responses to urban Violence, 1–347, 2010.
- TONG, D. et al. Accessibility-Based Multicriteria Analysis for Facility Siting. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 2174(1): 128–137, 2010.

UANG, R. S. Campaigning on Public Security in Latin America: Obstacles to Success. **Latin American Politics and Society**, 55(2): 26–51, 2013.

UDDAMERI, V.; HONNUNGAR, V. Combining rough sets and GIS techniques to assess aquifer vulnerability characteristics in the semi-arid South Texas. **Environmental Geology**, 51(6): 931–939, 2007.

VADREVU, K. P.; EATURU, A.; BADARINATH, K. V. S. Fire risk evaluation using multicriteria analysis-a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, 166(1–4): 223–239, 2010.

VAGIONA, D. G.; KARANIKOLAS, N. M. A multicriteria approach to evaluate offshore wind farms siting in Greece. **Global Nest Journal**, 14(2): 235–243, 2012.

VAHIDNIA, M. H.; ALESHEIKH, A. A.; ALIMOHAMMADI, A. Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. **Journal of Environmental Management**, 90(10): 3048–3056, 2009.

van HERWIJNEN, M.; RIETVELD, P. Spatial Dimensions in Multicriteria Analysis. In Thill, J. C. (Ed.) **Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis: A geographic information sciences approach**, Ashgate, Brookfield, 1999, 77-102.

van NIEKERK, A. et al. Development of a multi-criteria spatial planning support system for growth potential modelling in the Western Cape, South Africa. **Land Use Policy**, 50: 179–193, 2016.

VOGEL, R. Methodology and software solutions for multicriteria evaluation of floodplain retention suitability. **Cartography and Geographic Information Science**, 43(4): 301–320, 2016.

VOGEL, R. What Happened to the Public Organization? A Bibliometric Analysis of Public Administration and Organization Studies. **The American Review of Public Administration**, 44(4): 383-408, 2014.

WANDERER, T.; HERLE, S. Creating a spatial multi-criteria decision support system for energy related integrated environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, 52: 2–8, 2015.

WANG, D. et al. Crime hotspot mapping using the crime related factors — a spatial data mining approach. **Applied Intelligence**, 39(4): 772–781, 2013.

WANG, Y. et al. A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. **Water Resources Management**, 25(13): 3465–3484, 2011.

WATSON, J. J. W.; HUDSON, M. D. Landscape and Urban Planning Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. **Landscape and Urban Planning**, 138: 20–31, 2015.

WIDNER, B.; REYES-LOYA, M. L.; ENOMOTO, C. E. Crimes and violence in Mexico: Evidence from panel data. **Social Science Journal**, 48(4): 604–611, 2011.

- WOLFF, M. J. Policing and the logics of violence : a comparative analysis of public security reform in Brazil public security reform in Brazil. **An International Journal of Research and Policy**, 27(5): 560-574, 2015.
- WOOD, L. J.; DRAGICEVIC, S. GIS-based multicriteria evaluation and fuzzy sets to identify priority sites for marine protection. **Biodiversity and Conservation**, 16(9): 2539–2558, 2007.
- XU, E.; ZHANG, H. Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. **Applied Geography**, 45:1–9,, 2013.
- YAKAR, F.; CELIK, F. A highway alignment determination model incorporating GIS and Multi-Criteria Decision Making. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 18(6): 1847–1857, 2014.
- YAL, G. P.; AKGÜN, H. Landfill site selection utilizing TOPSIS methodology and clay liner geotechnical characterization: A case study for Ankara, Turkey. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 73(2): 369–388, 2014.
- YANG, Q.; DU, P.; WANG, Y.; LIANG, B. Developing a rough set based approach for group decision making based on determining weights of decision makers with interval numbers. **Operational Research**, Disponível online, 2017.
- YAO, Y. et al. Mapping fine-scale population distributions at the building level by integrating multisource geospatial big data. **International Journal of Geographical Information Science**, 31(6): 1220–1244, 2017.
- YATSALO, B. et al. Decerns: A framework for multi-criteria decision analysis. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, 8(3): 467–489, 2015.
- YATSALO, B. et al. Multi-Criteria Spatial Decision Support System DECERNS: application to land use planning. **International Journal of Information Systems and Social Change**, 1(1): 11–30, 2010.
- ZANUTTIGH, B. et al. THESEUS decision support system for coastal risk management. **Coastal Engineering**, 87: 218–239, 2014.
- ZAVERUCHA, J.; NÓBREGA Jr., J. M. P. O Pacto pela Vida, os tomadores de decisão e a redução da violência homicida em Pernambuco. **DILEMA: Revistas de Estudos de Conflitos e Controle Social** 8: 235–252, 2015.
- ZHANG, H.; HUANG, G. H. Assessment of non-point source pollution using a spatial multicriteria analysis approach. **Ecological Modelling**, 222(2): 313–321, 2011.
- ZHANG, Z. et al. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. **Journal for Nature Conservation**, 21(4): 225–240, 2013.
- ZIFU, F.; HONG, S.; LIHUA, W. Research of the classification model based on dominance rough set approach for China emergency communication. **Mathematical Problems in Engineering**, 2015:1-8, 2015.

ZOPOUNIDIS, C. et al. Multiple criteria decision aiding for finance: An updated bibliographic survey. **European Journal of Operational Research**, 247(2): 339–348, 2015.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, 138(2): 229–246, 2002.

ZUCCA, A.; SHARIFI, A. M.; FABBRI, A. G. Application of spatial multi-criteria analysis to site selection for a local park: A case study in the Bergamo Province, Italy. **Journal of Environmental Management**, 88(4): 752–769, 2008.