

Uso de lógica fuzzy na construção de cartas temáticas como alternativa para o cálculo do índice de desenvolvimento humano

Alana Mércia Engel¹, Luiz Cláudio Dalmolin¹, Nilson Ribeiro Modro¹, Agnaldo Vanderlei Arnold¹

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Centro de Educação do Planalto Norte (CEPLAN)

alanamengel@gmail.com, luiz.dalmolin@udesc.br, nilson.modro@udesc.br,
agnaldo.arnold@udesc.br

Resumo. *Desde a sua criação, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) recebe algumas críticas relacionadas a necessidade de melhorias metodológicas no seu cálculo. Assim sendo, esse artigo apresenta uma nova proposta para o cálculo utilizado na junção dos indicadores que formam o IDH, através da utilização de interpolação espacial e lógica fuzzy na construção de cartas temáticas do IDH de determinada região. O método proposto se mostra uma alternativa viável, além disso, a flexibilidade do método permite a realização de análises diferenciadas da situação do IDH levando em consideração a percepção dos agentes envolvidos no processo de cálculo do referido índice.*

Palavras-chave: *Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Lógica Fuzzy. Cartas temáticas.*

Abstract. *Since its creation, the Human Development Index (HDI) has received some criticism related to the need for methodological improvements in its calculation. Therefore, this article presents a new proposal for the calculation used in the combination of indicators that form the HDI, through spatial interpolation and diffuse logic in the construction of thematic maps representing the HDI of a given region. The proposed method proves to be a viable alternative; In addition, the flexibility of the method allows for a different analysis of the HDI situation taking into account the perception of the agents involved in the index calculation process.*

Keywords: *Human Development Index (HDI), Fuzzy Logic, Thematic Maps.*

1. Introdução

“Desenvolvimento humano é o processo de ampliação das liberdades das pessoas, no que tange suas capacidades e as oportunidades a seu dispor, para que elas possam escolher a vida que desejam ter” (PNUD, 2013, p. 23). Esse conceito surgiu na década de 1990 juntamente com sua medida, o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.

Esse índice foi lançado pela Organização das Nações Unidas - ONU, com a proposta de medir o grau de desenvolvimento de um país, considerando que além do produto interno bruto, melhorias nas condições de saúde e educação da população também deve ser parte fundamental do processo de desenvolvimento (Scarpin, Slomski, 2007).

Desde a sua divulgação o IDH foi mundialmente difundido e atualmente ainda é o índice mais reconhecido quando se trata de desenvolvimento humano. Com o passar dos anos foram feitas melhorias no modo como esse índice é calculado, porém, desde o seu surgimento e até os dias atuais o IDH sofre algumas críticas relacionadas a necessidade de melhorias metodológicas no seu cálculo (Veiga, 2003; Guimarães, Jannuzzi, 2004; Spanger, 2011; Viana et al., 2012).

Levando-se em consideração esses aspectos, este artigo pretende apresentar uma alternativa para o cálculo utilizado na junção dos componentes de renda, educação e saúde para compor o Índice de Desenvolvimento Humano, através da utilização de lógica *fuzzy* e cartas temáticas.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Críticas ao Índice de Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano -IDH apresentado em 1990, gerou várias críticas voltadas a metodologia e as propriedades do índice. Devido a isso sua construção passou por diversas modificações para corrigir alguns dos seus possíveis defeitos iniciais (Bueno, 2007). Mesmo com mudanças ao longo dos anos, ainda assim existem algumas críticas negativas ao IDH que persistem.

Segundo Spanger (2011), uma das críticas voltadas para a metodologia, é relativa a construção deste índice, pois o processo de agregação para formar o IDH utilizando média aritmética ou média geométrica dos índices, não deixa transparecer a importância relativa individual de cada um dos indicadores de renda, educação e saúde.

Veiga (2003, p. 1) ressalta que:

O principal defeito do IDH é que ele resulta da média aritmética de três índices mais específicos que captam renda, escolaridade e longevidade. Mesmo que se aceite a ausência de outras dimensões do desenvolvimento para as quais ainda não há disponibilidade de indicadores tão cômodos – como a ambiental, a cívica, ou a cultural – é duvidoso que seja essa média aritmética a que melhor revele o grau de desenvolvimento atingido por uma determinada coletividade (neste caso o município). Ao contrário, é mais razoável supor que o cerne da questão esteja justamente no possível descompasso entre o nível de renda obtido por determinada comunidade e o padrão social que conseguiu atingir, mesmo que revelado apenas pela escolaridade e longevidade.

Segundo Guimarães e Jannuzzi (2004, p. 6): “No caso do IDH, a ponderação atribuída a cada um dos indicadores (igualmente um terço para cada componente) é arbitrária e presume uma função de bem-estar social”.

Devido a essas e outras críticas, em 2010 foram incorporadas novas metodologias para o cálculo desse índice, onde passou a ser utilizada a média geométrica no lugar de média aritmética no cálculo, mas ainda assim não se mostrou uma solução satisfatória.

Até 2009 o índice era calculado pela média aritmética destes indicadores, procedimento que recebeu severas críticas por supor substitutibilidade entre as componentes, o que contradiz os pressupostos do PNUD que considerava as três componentes como essenciais para o desenvolvimento humano, portanto, não substituíveis entre si. Atendendo a esta crítica o procedimento foi modificado em 2010 para a média geométrica que, porém, não anula o problema, apenas o reduz (Spanger, 2011, p. 6).

2.2. Cartas Temáticas e Análise Espacial

A análise espacial é um ponto muito importante para os Sistemas de Informação Geográfica, pois é o processo que possibilita transformar dados brutos em informação útil para a busca pela descoberta científica ou para uma tomada de decisão mais eficiente (Longley, 2013). Para realizar a análise espacial são utilizados dados espaciais.

As cartas temáticas podem ser geradas partindo de dados espacial pontuais convertidos em superfícies contínuas através da utilização de interpolação espacial. Métodos de interpolação espacial são cada vez mais utilizados para análises sociodemográficas, considerando que vários softwares contêm esses métodos, possibilitando análises mais detalhadas. A técnica de interpolação espacial permite converter dados pontuais em campos contínuos, é utilizada para estimar valores de locais não amostrados, partindo de pontos amostrados, seguindo o raciocínio de que existe uma tendência de valores em locais mais próximos serem mais similares do que em locais mais afastados (Jakob, Young, 2006).

Considerando Constantino, Pegoraro e Costa (2016), indicadores como o IDH, quando são divulgados apenas numericamente, tornam mais difícil a visualização ampla de problemas econômicos e sociais, e muitas vezes acabam prejudicando uma análise para aplicação de soluções e políticas públicas na região de estudo. A representação através de mapas (ou cartas) temáticos é importante para conseguir verificar extensões territoriais e as singularidades de cada região.

A utilização de cartas temáticas possibilita uma melhor visualização da situação do desenvolvimento humano na área de estudo, permitindo assim, facilitar análises para que possam ser definidas políticas de atenção às áreas com menor desenvolvimento humano.

2.3. Lógica Fuzzy

Diferente da lógica booleana, a lógica *fuzzy* tem se mostrado eficaz como uma ferramenta para lidar com informações vagas, pois permite valores que variam continuamente entre 0 e 1. “A lógica *fuzzy* encontrou aplicação em uma infinidade de áreas, através das quais tem mostrado sua capacidade de adaptação e facilidade de interface com o ser humano” (Jané, 2004, p. 3).

Segundo Santos (2003) os conjuntos *fuzzy* não possuem fronteiras bem definidas e surgiram devido as limitações dos conjuntos clássicos em lidar com problemas onde a transição entre classes deve ser de forma suave.

Através da utilização de métodos lógicos e operadores *fuzzy*, os conjuntos *fuzzy* podem ser manipulados para combinação de dados de vários conjuntos, para se obter um mapa resultante da junção de vários planos de Informação *fuzzy* (Escada, 1998).

O grau de pertinência de um elemento em relação a um conjunto é mostrado pela função de pertinência, ela representa o grau de possibilidade que existe do elemento pertencer a um determinado conjunto.

A lógica *fuzzy* utiliza variáveis que são expressas por um termo linguístico, de forma que os nomes atribuídos às variáveis linguísticas estejam associados aos conjuntos *fuzzy*. Segundo Henriques (2004), esse conceito é de extrema importância na lógica *fuzzy*, pois através de uma metodologia em que variáveis tem valores associados a palavras ou frases dentro de uma linguagem natural ou não, em vez de associadas a valores numéricos, possibilita trabalhar com conceitos incertos.

A aplicação de Lógica *Fuzzy* na construção de cartas temáticas do índice de desenvolvimento humano, permite maior flexibilidade para definir importâncias diferentes para cada componente do IDH.

Segundo Dalmolin (2013), algumas características da aplicação de Lógica *Fuzzy* para construção de cartas temáticas são: a possibilidade de considerar a percepção dos agentes envolvidos tanto na criação das cartas quanto na análise dos resultados, o que torna o processo mais flexível. Da mesma forma, a utilização de termos linguísticos na construção e interpretação das cartas temáticas torna o processo de tomada de decisão mais compreensível e aplicável por profissionais de várias áreas.

3. Metodologia

A metodologia utilizada para a geração de cartas temáticas com aplicação da Lógica *Fuzzy* baseia-se especialmente no método proposto por Dalmolin (2013). A metodologia proposta neste artigo possibilita a geração do Índice de Desenvolvimento Humano sob uma nova ótica.

3.1. Detalhamento da Metodologia

Conforme pode ser visto na Figura 1, na presente proposta, a unidade básica de informação utilizada é o Município, considerando que no Brasil essa é a menor unidade de informação para a qual o Índice de Desenvolvimento Humano é calculado. A metodologia prevê, inicialmente, a coleta de dados referentes a cada um dos indicadores que compõem o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, ou seja, os indicadores de educação, longevidade e o de renda de cada município da área de estudo. Além dos dados para o cálculo do IDH, também são utilizados dados geográficos dos Municípios, referentes a divisão política municipal, área dos municípios e localização geográfica das sedes municipais, obtidos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

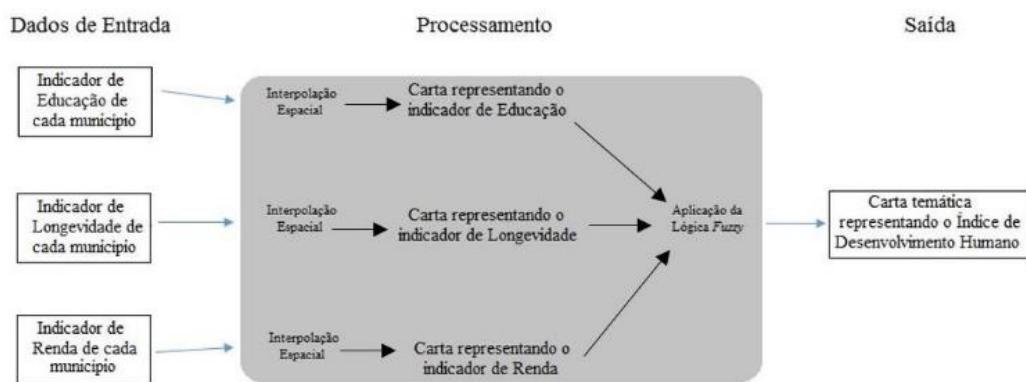


Figura 1. Representação do método proposto para geração do IDH.

Partindo desses dados, a metodologia prevê que cada valor dos indicadores de educação, longevidade e renda seja associado com as respectivas sedes municipais, a partir dos quais são geradas cartas temáticas para cada indicador que compõem o índice, através da utilização do método de interpolação espacial inverso ponderado da distância (IDW).

Após a geração dessas cartas, as mesmas são submetidas a um processamento tendo por base a lógica *fuzzy*, visando combinar os indicadores de acordo com a percepção dos agentes envolvidos na análise dos mesmos e considerando a existência de dados imprecisos, expressos em termos linguísticos (muito baixo, baixo, médio, alto ou muito alto) e a possibilidade de definir importâncias diferentes para cada indicador no cálculo do IDH.

Na sequência, juntamente com as cartas temáticas, são geradas matrizes de valores que são utilizadas como entrada para a inferência *fuzzy*, para cada entrada; e para a saída são definidos os conjuntos *fuzzy*, que representarão os dados processados, de acordo com as regras, também definidas pelo usuário, as quais definirão os resultados do processamento. Estas regras representam as combinações possíveis de análise dos dados, considerando os conjuntos *fuzzy* definidos para as entradas e para a saída. Considerando esses parâmetros, a lógica *fuzzy* é aplicada obtendo assim a carta temática representando o Índice de Desenvolvimento Humano sob uma nova ótica.

4. Resultados e Discussão

A metodologia proposta foi aplicada para o cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para o Estado de Santa Catarina, a partir dos indicadores componentes do IDH de cada município do Estado, como uma alternativa mais flexível e possivelmente mais adequada que o método oficial de cálculo do IDH.

4.1. Aplicação do Método Proposto

Para a geração das cartas temáticas de entrada de dados, foram coletados os indicadores componentes do cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M)¹, referentes aos Municípios do Estado de Santa Catarina, relativos ao ano de 2010, e dados geográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A ferramenta *Quantum GIS*² foi utilizada para a criação e manipulação das cartas temáticas. Para determinar as variáveis linguísticas, as funções de pertinência e as regras da inferência *fuzzy* a serem aplicadas, foi utilizada a ferramenta *FuzzyTECH*³.

Após determinar esses parâmetros, a aplicação da lógica *fuzzy* para a geração de cartas temáticas foi efetuada a partir de uma ferramenta específica, desenvolvida no meio acadêmico, e que processa os dados usando a inferência *fuzzy*, considerando os conjuntos definidos e as regras de inferência.

Para esse processamento, foram coletados dados de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal para os indicadores de *educação*, *renda* e *longevidade*. Esses dados foram inseridos em camadas de dados georreferenciados, considerando a sede de cada município como a localização geográfica dos dados.

Após a coleta e inserção dos dados, foram criadas as cartas temáticas representando cada um dos indicadores que formam o IDH (Figura 2), através da utilização de interpolação espacial, com o método IDW, devido a sua simplicidade de aplicação e adequação ao método proposto. Com a realização da interpolação espacial, a partir das cartas, foram gerados os arquivos de dados (matrizes de valores) de IDHM para cada um dos indicadores.

¹<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/>

²<http://www.qgis.org/en/site/>

³<http://www.fuzzytech.com/>

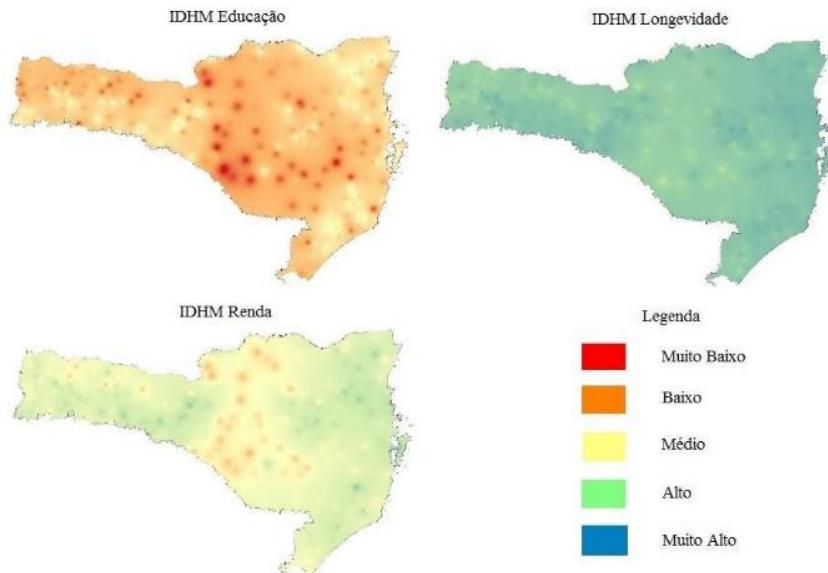


Figura 2. Cartas temáticas interpoladas representando os indicadores de Educação, Longevidade e Renda, respectivamente, para o Estado de Santa Catarina, tendo por base o ano de 2010.

Na sequência, foram determinadas as variáveis linguísticas de entrada, representando cada um dos indicadores utilizados (*educação, longevidade e renda*), assim como as regras de análise, e a variável linguística de saída (IDH).

Utilizando as matrizes das cartas geradas para os indicadores renda, educação e longevidade, juntamente com os parâmetros definidos para a aplicação da lógica fuzzy, pode ser então gerada a carta temática representando o Índice de Desenvolvimento Humano do Estado de Santa Catarina.

Para exemplificar a flexibilidade do método proposto, foram geradas três cartas representando análises diferenciadas que podem ser realizadas para o IDH do Estado de Santa Catarina.

4.2. Experimento 1

Para a geração dessa carta foi utilizado o mesmo conjunto de pertinência para todas as 3 cartas de entrada e para a saída, com uma faixa de valores semelhante a já existente no IDH oficial, para classificação, a partir dos termos: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto, Muito Alto.

Considerando que foram criados cinco conjuntos para cada variável de entrada, para atender a todas as combinações, foram necessárias 125 regras, geradas automaticamente pela ferramenta utilizada. Nesse caso, as regras foram geradas considerando que cada variável de entrada teria uma influência igual sobre o resultado.

Após essas definições, juntamente com as matrizes de dados das cartas geradas inicialmente para cada um dos indicadores, foi possível aplicar a lógica fuzzy para gerar a carta temática representando o IDH no Estado de Santa Catarina.

A carta gerada apresenta o IDH em Santa Catarina, na qual é possível verificar as áreas com maior e menor desenvolvimento humano. Pela metodologia tradicional do cálculo do IDH, alguns municípios do Estado que, contém IDH mais baixos são: Cerro Negro, Calmon e Vargem; e os com o IDH mais altos são: Florianópolis, Balneário Camboriú e Joaçaba. Conforme Figura 3, na carta gerada com o método aqui proposto, essas cidades mantêm o seu nível de desenvolvimento, porém o desenvolvimento humano

é apresentado de forma contínua, não se limitando a divisão política municipal e sim a influência do valor de desenvolvimento a partir das sedes municipais sobre as regiões vizinhas.

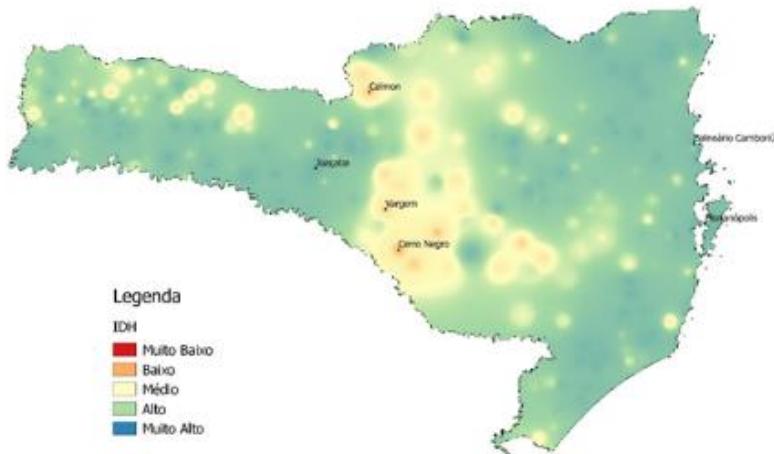


Figura 3. Carta de Desenvolvimento Humano no Estado de Santa Catarina, destacando cidades inseridas em regiões com maior e menor desenvolvimento humano. Experimento 1.

4.3. Experimento 2

Para a segunda carta gerada foram utilizadas as mesmas variáveis e conjuntos de pertinência utilizados no experimento anterior, porém optou-se por dar maior prioridade para o indicador educação no cálculo do IDH, através da atribuição de uma influência maior para a variável *educacao* sobre o resultado, gerando assim um conjunto de regras diferente. Dessa forma, foi gerada a segunda carta temática para análise do IDH no Estado de Santa Catarina.

Considerando que o indicador educação é o que possui valores nominais mais baixos, a carta gerada atribuindo influência maior para esse indicador apresenta uma piora geral no IDH resultante, mas ainda assim é possível observar que algumas regiões onde estão inseridas cidades como Florianópolis, Balneário Camboriú, Joaçaba, Concórdia, São José, Jaraguá do Sul, Iomerê e Joinville mantém um bom IDH pois contém o indicador educação tão bom quanto os outros indicadores (Figura 4).

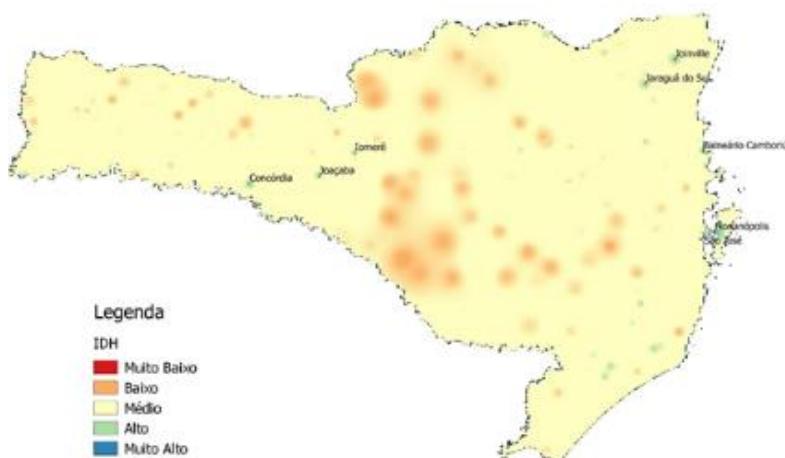


Figura 4. Carta de Desenvolvimento Humano no Estado de Santa Catarina, cidades com maior desenvolvimento humano. Experimento 2.

4.4. Experimento 3

Para a geração desta carta, buscou-se aplicar funções e regras mais simples, onde cada variável de entrada recebeu apenas dois conjuntos (baixo e alto), e a variável de saída recebeu três conjuntos (médio, alto e muito alto). Foram atribuídas influências iguais para os três indicadores. Com esses conjuntos de pertinência, foi possível gerar uma carta de IDH com somente 8 regras de inferência. Dessa forma, foi gerada a terceira carta temática representando o Índice de Desenvolvimento Humano no Estado de Santa Catarina, representada na Figura 5.

A carta gerada possibilita verificar as regiões que têm o IDH menor ou maior de forma geral, porém não traz um resultado tão específico quanto a carta apresentada no Experimento 1. Na Figura 6, é feita uma comparação entre as cartas geradas. A Carta A representa o IDH gerado nesse experimento, enquanto que a Carta B representa o IDH gerado no experimento 1.

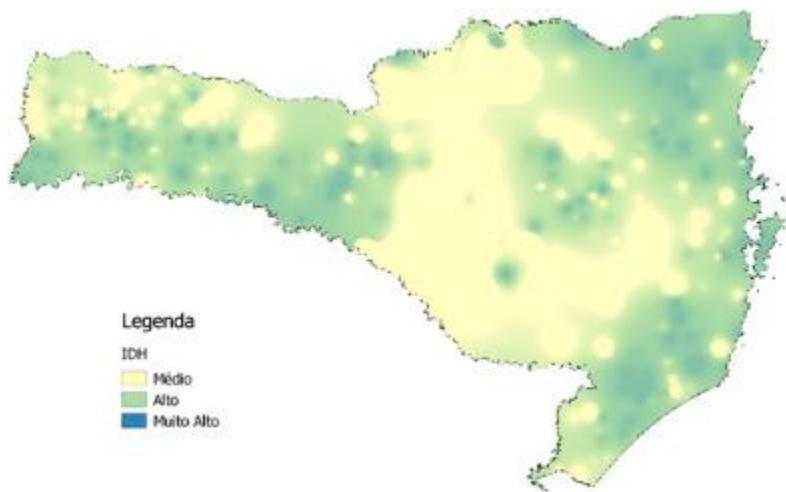


Figura 5. Carta de Desenvolvimento Humano no Estado de Santa Catarina. Experimento 3.

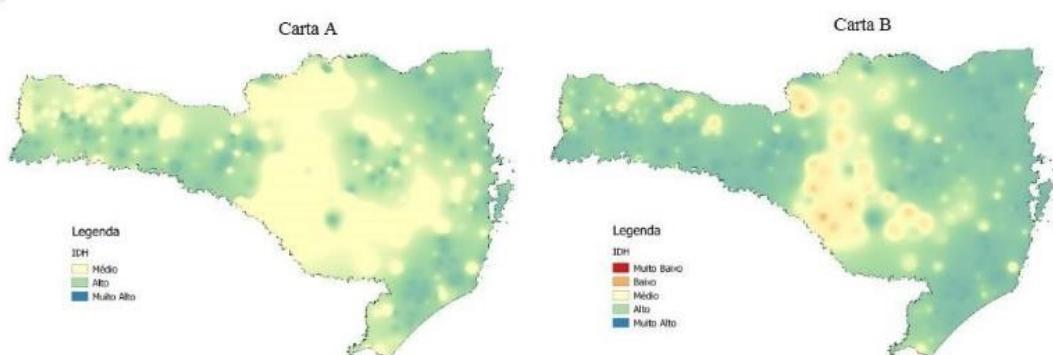


Figura 6. Comparação entre cartas geradas.

5. Conclusão

Considerando o objetivo do presente trabalho de apresentar uma nova proposta para o cálculo utilizado na combinação dos indicadores que compõem o Índice de Desenvolvimento Humano, o método proposto se mostra uma alternativa viável, ao combinar os indicadores de renda, educação e longevidade com o uso de lógica *fuzzy* para

gerar uma carta temática representando o IDH, é possível realizar análises diferenciadas da situação do IDH, de acordo com a percepção dos agentes envolvidos no processo de cálculo do IDH e com a utilização de variáveis linguísticas, que melhor representam essa percepção de grandeza.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta um método diferenciado para o cálculo do IDH, no qual diferentes cenários possam ser testados, com indicadores que compõem esse índice valorizados de diferentes formas neste cálculo, de acordo com a percepção de importância e de interesse dos especialistas envolvidos no processo de cálculo do índice de desenvolvimento humano de uma região.

Em trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do método para gerar um resultado mais específico, sem a necessidade de uma quantidade muito grande de regras de inferência. Da mesma forma, destaca-se a importância de se realizar um levantamento em uma região em que o índice de desenvolvimento humano contenha valores mais amplos, desde os mais baixos aos mais altos, para que se possa realizar uma melhor análise do método proposto e sua utilidade no cálculo do IDH.

Referencias

- ATLAS BRASIL 2013. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. PNUD. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking>>.
- BUENO, Edir de Paiva. O índice de desenvolvimento humano (IDH): avaliação de seus pressupostos teóricos e metodológicos. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia - Goiás – Brasil. v. 27, n. 3, p. 49-69, jul. / dez. 2007.
- CONSTANTINO, Michel; PEGORARE, Alexander Bruno; DA COSTA, Reginaldo Brito. Desempenho regional do IDH e do PIB per capita dos municípios de Mato Grosso do Sul, Brasil, entre 2000 e 2010. Interações (Campo Grande), v. 17, n. 2, 2016.
- DALMOLIN, L. C. Elaboração de cartas temáticas de potencial poluidor industrial com base em dados econômicos oficiais e lógica difusa. 2013. Tese. 125 p. (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) Universidade do Vale do Itajaí. Santa Catarina. Brasil.
- ESCADA, Maria Isabel Sobral. Aplicação de técnica Fuzzy em SIG como alternativa para o zoneamento ecológico econômico (ZEE). São José dos Campos, 1998.
- GUIMARÃES, José Ribeiro Soares; JANNUZZI, Paulo de Martino. Indicadores sintéticos no processo de formulação e avaliação de políticas públicas: limites e legitimidades. Anais do Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu, MG, Brasil, v. 14, 2004.
- HENRIQUES, Luís Oscar de Araújo Porto. Implementação de estratégia de minimização de oscilações de torque e remoção de sensor de posição para um acionamento de relutância variável usando técnica neuro-fuzzy. 2004. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Santa Catarina. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?coduf=42>>.
- JAKOB, Alberto Augusto Eichman; YOUNG, Andrea Ferraz. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. XV Encontro Nacional

de Estudos Popacionais, ABEP, realizado em Caxambu – MG – Brasil, de 18 a 22 de setembro de 2006.

JANÉ, Dario de Almeida. Uma introdução ao estudo da lógica fuzzy. *Hórus*, v. 2, p. 1-16, 2004.

LONGLEY, Paul A. Sistemas e ciência da informação geográfica / Paul A. Longley ... [et al.]; [tradução: André Schneider ... et al.]; revisão técnica: Heinrich Hasenack, Eliseu José Weber. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. – Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013.

SANTOS, Germano Jose Carvalho. Lógica Fuzzy. Monografia de conclusão do curso de Matemática da Universidade Estadual de Santa Cruz. UESC, 2003.

SCARPIN, Jorge Eduardo; SLOMSKI, Valmor. Estudo dos fatores condicionantes do índice de desenvolvimento humano nos municípios do estado do Paraná: instrumento de controladoria para a tomada de decisões na gestão governamental. *Revista de Administração Pública*, v. 41, n. 5, p. 909-933, 2007.

SPANGER, Uwe. O desafio na medição do bem-estar: controvérsias e propostas: o caso do IDH. IX Encontro Nacional da ECOECO. Brasília, 2011.

VEIGA, J. E. Problemas do uso ingênuo do IDH-M. *Valor*, 14/01/2003..

VIANA, Débora et al. Mensuração do índice de desenvolvimento humano: uma proposta utilizando o método multicritério electre tri-c. 2012.