

Exercício de Reprodução de Experimento

Artigo Original: A Statistical Comparative Study of Different Similarity Measures of Consensus in Group Decision Making

Tiago Lucas Pereira Clementino

11 de julho de 2018

Abstract

Um dos objetivos essenciais em problemas de decisão entre especialistas (do inglês Group Decision Models, GDM) é a obtenção de níveis aceitáveis de consenso. Uma solução não consensual pode não ter validade prática. Medir a similaridade entre as soluções apontadas por cada especialista é essencial para trilhar o caminho até o consenso. Decidir como fazer isto é importante para o sucesso neste processo. Em (Chiclana et al. 2013) o autor realizou uma comparação entre cinco dos principais (mais usados) modelos de medição da distância aplicados ao consenso (Manhattan, Euclidian, Dice, Cosine e Jacard). Pretendo questionar/validar este estudo, o reproduzindo e analisando utilizando um modelo de regressão linear aliado a uma análise estatística por intervalos de confiança. Metodologia diferente daquela adotada pelo autor.

1 Introdução

Soluções voltadas ao suporte à decisão em grupo trabalham para ajudar a escolher a melhor opção a partir de um conjunto de opções viáveis. Decidir qual a melhor opção frequentemente representa um problema complexo, sobretudo quando envolve o consenso entre um grupo de indivíduos. Com isto, medir com precisão a diferença entre múltiplas opções de solução é uma importante questão projetual. Para tanto, é preciso escolher um modelo adequado para mensurar tal distância. O que se segue é a reprodução de um estudo comparativo que busca evidências que apontem os melhores modelos de distância para problemas de decisão em consenso.

GDM (do inglês, *Group Decision Making*) são

modelos onde um grupo de indivíduos mobiliza seus conhecimentos a certa e um problema em busca da melhor solução dentre um conjunto de critérios e alternativas possíveis. Neste contexto, CRP (*Consensus Reaching Process*) descreve um processo onde indivíduos engajados na argumentação alteram suas opiniões visando elevar indicadores de consenso e satisfação coletivos (Cabrerizo, Alonso, and Herrera-Viedma 2009; Cabrerizo et al. 2010). Para se atingir indicativos aceitáveis de consenso é preciso quantificar e comparar as preferências de cada indivíduo dentre pares de alternativas viáveis. Em tal comparação são aplicadas estratégias matemáticas de medição de distância. Diante disto, as cinco estratégias mais aplicadas na literatura (segundo o autor original) são as distâncias de Manhattan, Euclidiana, Dice, Jacard e Cosseno (Cha 2007; Chen et al. 1995; M. M. Deza and Deza 2009; Wang, De Baets, and Kerre 1995).

Quando mencionamos a palavra consenso nos remetemos imediatamente ao conceito de unanimidade. Porém, nas últimas décadas tem crescido o entendimento de que uma interpretação mais flexível da ideia de consenso refletiria melhor as relações entre os seres humanos. Daí o conceito de Soft Consensus, onde o consenso é representado por um índice entre zero e um.

Soft Consensus pode ser aplicado representando o consenso por quantificadores Fuzzy tais como “most”, “leasthalf” ou “asmany” (margens de

maioria), ao invés de apenas “todos ou nenhum”(unanimidade). Tal consenso ainda pode ser mensurado usando três estratégias (níveis): comparação entre pares de alternativas, comparação entre todas as relações ligadas à uma alternativa específica ou entre todas as relações globalmente. Todos os conceitos apresentados até aqui serão tratados com mais detalhes na seção seguinte, caso esta introdução já tenha sido suficiente ou o leitor tenha familiaridade com o assunto, pode avançar da introdução para a seção 3.

Aqui foi feito a reprodução de um estudo comparativo originalmente reportado em (Chiclana et al. 2013). Os autores do estudo original fizeram uma comparação estatística entre os cinco principais modelos de medição de distância utilizadas no suporte ao consenso. Testes estatísticos pareados utilizando o método não-paramétrico de Wilcoxon foram reportados. Os resultados visavam responder se a aplicação de um ou outro modelo de distância exercia alguma influência no resultado do processo até o consenso. Dentre os fatores do experimento estão o quantificador Fuzzy aplicado, o nível de consenso aplicado, o total de indivíduos, o total de alternativas e o modelo de distância (variável de controle). O experimento original será descrito em detalhes na seção 3.

Para esta reprodução, procurei seguir detalhadamente todos os passos do estudo original, porém aplicando o meu próprio modelo operacional (disponível em github.com/tiagoclementino/GDMR/tree/ref18, junto com os scripts da análise, um guia de reprodução e até

o texto deste relatório) e métodos estatísticos diferentes. A análise procedeu com base em duas abordagens. Uma utilizando intervalos de confiança com *bootstrap* (por observar a distribuição gaussiana nos dados) para reproduzir exatamente o mesmo quadro do artigo original (que utilizou o teste de Wilcoxon) e outra utilizou regressão linear para criar um modelo de correlação entre todos os fatores. Os detalhes desta reprodução estão descritos na seção 4, o experimento original na seção 3 e a seção 6 traz uma sumarização e algumas considerações finais.

2 Contexto

Para contextualizar e tornar este documento alto explicativo, vamos esclarecer alguns conceitos que nortearam o experimento original e a reprodução.

2.1 GMD (*Group Decision Making*)

GMD é o processo que visa atingir um julgamento comum a um conjunto de múltiplos participantes para um problema de decisão, o qual é definido na forma de um conjunto de possíveis soluções. De acordo com (Kacprzyk 1986), GMD pode ser formalmente definido do seguinte modo:

- Um grupo de participantes, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, cada um deles com um certo grau de conhecimento referente ao domínio do problema.
- Um problema de decisão definido por n possíveis alternativas, o qual é denotado por $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

- O processo onde os participantes tentam chegar a uma solução comum.

Para cada participante $e_i \in E$, construa a função $\mu_{p_i} X \times X \implies D$, onde D é o domínio de representação da informação (em $[0, 1]$) e $\mu_{p_i}(x_l, x_k) = (p_{lk})^i(l, k \in \{1, 2, \dots, n\})$ denota o grau de preferência da alternativa x_l frente à x_k em D e $p_{ij} + p_{ji} = 1, \forall i, j \in \{1, \dots, n\}$. Assim, as preferências dos participantes para todas as alternativas em X podem ser descritas como uma matriz $P^i = (p_{lk}^i)_{(n \times n)}$ (Kacprzyk 1986).

O uso de um modelo fixo de opinião baseado em preferências sobre alternativas é prática comum na literatura (Tanino 1984; Herrera-Viedma, Herrera, and Chiclana 2002; Orlovsky 1978). Diferentes métodos de avaliação de preferências são comparados em (Millet 1997), onde conclui-se que estratégias pareadas de comparação são mais eficientes que não pareadas. Dentre os modelos de representação das preferências dos participantes, aqueles baseados em relações de preferência Fuzzy (Chiclana, Herrera, and Herrera-Viedma 1998; Chiclana, Herrera, and Herrera-Viedma 2002; Kacprzyk 1986; Kahraman, Ruan, and Doğan 2003; Orlovsky 1978; Świtalski 2003) são os mais usuais no suporte ao consenso. Isto se dá em função do processo de agregação de preferências, convenientemente facilitado por quantificadores Fuzzy capazes de expressar imprecisão.

2.2 CRP (*Consensus Reaching Process*)

Um processo de decisão em grupo pode ser resolvido apenas levantando e agregando opiniões

dos participantes e, em seguida, selecionando diretamente a solução mais bem sucedida. Porém, a aprovação e consequente aplicação desta solução não pode estar assegurada pois não houve um consenso entre os especialistas (Butler and Rothstein 2007). O consenso nada mais é do que o resultado da discussão em si, fruto de um processo recorrente e iterativo onde um grau de consenso é checado a cada “rodada”.

Consenso pode ser definido como “um entendimento mútuo produzido com o consentimento de todos os membros em um grupo ou entre vários grupos” (Saint and Lawson 1994). Em um primeiro momento, a ideia de consenso pode nos remeter ao conceito de unanimidade, e nos primeiros trabalhos de pesquisa na área era este o objetivo (J. C. Bezdek, Spillman, and Spillman 1978; Spillman, Spillman, and Bezdek 1980). Atualmente há um entendimento geral de que um conceito mais flexível de consenso (*Soft Consensus*) representa melhor a realidade das discussões humanas (Martínez and Montero 2007). A lógica difusa (*Fuzzy Logic*) é um caminho recorrente neste sentido (Kacprzyk 1986).

A cada rodada, o processo de suporte ao consenso calcula dois parâmetros (Cabrerizo, Pérez, and Herrera-Viedma 2010; Herrera, Herrera-Viedma, and others 1996; Herrera, Herrera-Viedma, and Verdegay 1997): (i) o grau de consenso, que vai definir o quão próximo estamos de um limiar estipulado como aceitável (ii) uma medida de proximidade entre as preferências dos participantes, o que dará suporte ao processo rumo ao consenso. Estas medidas são utilizadas para mensurar o estágio do consenso

em três diferentes níveis de relações de preferência Fuzzy: preferências entre pares de alternativas (*pairs of alternatives* no artigo original), preferências envolvendo todas as relações ligadas a uma alternativa específica (*alternatives level* no artigo original) e uma medida geral (*relation level* no artigo original). Isto nos permite identificar quais indivíduos estão mais próximos da solução consensual, ou a respeito de quais alternativas o consenso será mais difícil.

O cálculo do índice de consenso envolve, necessariamente, alguma métrica de similaridade. Uma função de similaridade deve ser utilizada para mensurar ambos, o índice de consenso e uma matriz de proximidade. Proximidade é calculada mensurando a similaridade entre as preferências (pares de alternativas), para cada participante r , e uma agregação geral em uma matriz de similaridade de acordo com $SM^r = (sm_{ij}^r)$, onde

$$sm_{ij}^r = s(p_{ij}^r, p_{ij})$$

Sendo p_{ij}^r a medida da preferência do participante r entre as alternativas $i, j \in X$, e $p_{ij} = \phi(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^{(r-1)}, p_{ij}^{(r+1)}, \dots, p_{ij}^m)$, onde ϕ é uma função que descreve a maioria segundo um quantificador Fuzzy (no experimento foi usado “most”, “leathalf” e “asmany”), e $s : [0, 1]^{(m-1)} \times [0, 1]^{(m-1)} \implies [0, 1]$ é a função de similaridade. Esta matriz de similaridade é útil tanto no cálculo do consenso, quanto em prover o feedback necessário para que cada participante possa modificar sua opinião corretamente rumo ao consenso.

O consenso é calculado fundindo cada preferência entre pares de alternativas para cada par-

ticipante r . Isto é feito segundo três níveis já mencionados.

- **Nível 1:** Consenso entre pares de alternativas, cp_{ij} , é um valor obtido pela agregação (utilizando os quantificadores Fuzzy) de todas as preferências dos participantes para cada par de alternativas

$$\forall i, j = 1, \dots, n \wedge i \neq j : cp_{ij} = \phi(sm_{ij}^1, \dots, sm_{ij}^m)$$

- **Nível 2:** Consenso pela agregação de todas as relações ligadas a uma alternativa específica

$$ca_i = \phi(cp_{ij}, cp_{ji} : j = 1, \dots, n \wedge j \neq i)$$

- **Nível 3:** Consenso por uma medida global envolvendo todos os participantes e alternativas

$$cr = \phi(ca_i : i = 1, \dots, n)$$

Atualmente, pelo menos 90 diferentes famílias de operadores de agregação têm sido estudadas (Chiclana et al. 2004; Chiclana et al. 2007; Dubois and Prade 1985; Fodor and Roubens, n.d.; Herrera, Herrera-Viedma, and Chiclana 2003; Klir and Folger 1988; Xu and Da 2003; Yager 1988; Zhou et al. 2008; Zhou et al. 2011). Dentre elas, o operador OWA (do inglês *Ordered Weighted Averaging*) proposto por Yager (Yager 1988) é o mais usado. A operação de agregação em função de um operador quantificador, ϕ é definida assim:

$$p_{ij}^c = \phi(p_{ij}^1, \dots, p_{ij}^m) = \sum_{k=1}^m w_k \cdot p_{ij}^{\sigma(k)}$$

, onde ϕ é uma função de permutação tal que $p_{ij}^{\sigma(k)} > p_{ij}^{\sigma(k+1)}, \forall k = 1, \dots, m-1$ e $w_k \in W =$

(w_1, \dots, w_n) é um vetor ponderado obtido a partir dos quantificadores de maioria Fuzzy descritos anteriormente.

3 Experimento original

3.1 Descrição do problema

Dado um problema de decisão, a função de similaridade aplicada entre as preferências dos participantes tem um importante papel na convergência rumo ao consenso. Isto serviu de motivação para um estudo comparativo que visa responder se o uso de diferentes funções de similaridade pode ou não afetar o processo de consenso. Além do mais, se for o caso, produzir recomendações aos participantes que os guiem a ajustar ou manter suas opiniões rumo ao consenso em função de uma similaridade concentrada pode tornar a decisão a respeito de qual métrica usar ainda mais significativa.

3.1.1 Problema de negócio

Atingir o consenso não é uma tarefa trivial, sobretudo quando lidamos com um número significativo de participantes ou um problema complexo (muitas alternativas). Identificar uma forma eficaz de mensurar o consenso ou mesmo produzir recomendações úteis pode ser muito difícil. Tomar as decisões corretas no projeto de um sistema de suporte ao consenso é decisivo para esta questão e isto passa por escolher a função de similaridade adequada.

3.1.2 Problema técnico

Comparar as cinco funções de similaridade mais frequentemente aplicadas a sistemas de suporte ao consenso baseados em quantificadores Fuzzy. Dados dois vetores de números reais $a = (a_1, a_2, \dots, a_u)$ e $b = (b_1, b_2, \dots, b_v)$, as cinco funções de similaridade testadas são as seguintes (Cha 2007; Chen et al. 1995; M. M. Deza and Deza 2009; Wang, De Baets, and Kerre 1995):

$$\begin{aligned} \text{Manhatan} : d_1(a, b) &= \sum_{i=1}^n |a_i - b_i| \\ \text{Euclidean} : d_2(a, b) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n |a_i - b_i|^2} \\ \text{Cosine} : d_3(a, b) &= \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \\ \text{Dice} : d_4(a, b) &= \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2 + \sum_{i=1}^n b_i^2} \\ \text{Jaccard} : d_5(a, b) &= \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2 + \sum_{i=1}^n b_i^2 - \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i} \end{aligned}$$

3.2 Objetivos da Investigação

A pesquisa realizada no artigo em questão é do tipo experimental, e teve como objetivo comparar o comportamento das cinco principais funções de similaridade aplicadas a problemas de consenso. Foi realizada uma simulação de consenso a partir de dados aleatórios aplicando tais funções e seus resultados analisados sob a métrica do grau de consenso final.

Formalmente, o objetivo desta comparação pode ser definido no formato GQM como analisar as funções de distância aplicadas ao suporte ao consenso com a intenção de compará-las a respeito de seus graus de consenso finais do

ponto de vista dos projetistas de sistemas de suporte ao consenso no contexto dos resultados de simulações envolvendo múltiplos fatores.

3.3 Execução do experimento

3.3.1 Questões de pesquisa

“*The application of the Manhattan, Euclidean, Cosine, Dice and Jaccard distance functions in GDM problems do not produce significant differences in the measurement of consensus*” (Chiclana et al. 2013), traduzindo: “A aplicação das funções de distância de Manhattan, Euclidiana, Cosseno, Dice e Jaccard em problemas GDM não produzem diferenças significativas ao mensurar consenso.”

3.3.2 Fatores e variáveis de resposta

As variáveis independentes (e também fatores) utilizados no experimento são:

- **Função de distância utilizada:** Uma dentre cinco funções tomadas como predominantes na literatura (variável de controle).
- **Total de participantes:** Número de participantes utilizados no processo de consenso (simulação) $E_m : m = \{4, 6, 8, 10, 12\}$.
- **Total de alternativas viáveis:** Número de alternativas de solução viáveis $X_n : n = \{4, 6, 8\}$.
- **Quantificadores Fuzzy:** Além das funções de distância, quantificadores de maioria Fuzzy podem ter influência no resultado. Aqui

foram usados "most", "asmany" e "least-half".

- **Níveis de consenso:** São relações de preferência entre alternativas associadas a maiores Fuzzy. São eles: (1) nível de pares de alternativas (compara cada alternativa entre si), (2) nível de alternativas (compara cada alternativa com as demais) e (3) nível da relação (comparação geral)

As variáveis de resposta são:

- **Grau de consenso:** Saldo final do processo de consenso que descreve o qual de acordo os participantes estão com o resulta: $cr \in [0, 1]$

3.3.3 Níveis das variáveis

Os níveis dos fatores de da variável de resposta (Índice de consenso) estão definidos de acordo com a tabela 1.

Variável	Níveis
Função de distância	{Manhatan, Euclidean, Cosine, Dice, Jaccard}
Participantes	{4, 6, 8, 10, 12}
Alternativas	{4, 6, 8}
Quantificadores	{most, leasthalf, asmany}
Níveis	1, 2, 3
Índice de consenso	[0,1]

Tabela 1: Níveis das variáveis utilizadas no experimento

3.3.4 Hipótese nula

A hipótese nula afirma que a utilização de duas funções de distância diferentes não produz diferenças significativas no grau final de consenso.

3.3.5 Unidade experimentais

As unidades experimentais são os resultados da comparação entre cada duas funções de distância distintas dadas cada combinação diferente dos fatores.

3.3.6 Design do experimento

Trata-se de uma pesquisa experimental. Aqui os dados são produzidos pelo pesquisador com base na repetição de experimentos onde fatores são ajustados e variáveis resposta são observadas. Tipicamente há um ou poucos fatores importantes a ajustar a cada repetição (aqui temos a função de distância e os outros quatro fatores).

Para testar a hipótese nula, doze (12) conjuntos de relações de preferência (pares de alternativas) foram gerados aleatoriamente para cada combinação possível de participantes ($E_m : m \in M = \{4, 6, 8, 10, 12\}$) e alternativas ($X_n : n \in N = \{4, 6, 8\}$). As diferentes funções de distância foram aplicadas, por sua vez, para mensurar consenso nos três níveis possíveis (pares de alternativas, alternativas e relação geral), usando os três diferentes operadores quantificadores guiados OWA (Fuzzy) (Yager 1988). Todas as funções de distância foram testadas aos pares, $d_i \times d_j : i = \{1, 2, 3, 4\}, j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ($\frac{5*5-5}{2} = 10$ testes), e assim, foram realizadas um total de $12 * |M| * |N| * 3 * 3 * 5 = 8100$ simulações e $|M| * |N| * 3 * 3 * 10 = 1350$ análises.

3.3.7 Execução

A execução do experimento envolve apenas dois passos:

1. Execução de simulações de consenso. Uma para cada combinação de fatores.
2. Análise estatística dos resultados.

3.3.7.1 Simulação

O autor original apenas descreve a simulação, sem apresentar um modelo operacional ou mesmo sua validação.

3.3.7.2 Análise dos resultados

Para cada par de funções de distância em comparação são analisadas duas amostras relacionadas. O usual teste paramétrico utilizado nestes casos é o teste t (segundo autor original). Contudo, este teste exige para sua aplicação que assumamos uma distribuição normal e independente dos dados na população do qual a amostra aleatória é retirada. O autor considerou que assumir isto é pouco realista, além de entender que evitando tais premissas poderia tornar seus resultados mais generalistas. Assim, adotou um teste não-paramétrico como sendo o mais adequado (Lehmann and D'Abrera 1975; Siegal 1956; Wilcoxon 1945)

Para dados contínuos e duas amostras relacionadas (pares e alternativas), o autor entendeu como adequado o teste não-paramétrico de *ranking* de Wilcoxon (Lehmann and D'Abrera 1975; Rohatgi and Saleh, n.d.; Siegal 1956; Wilcoxon 1945). O teste de Wilcoxon leva em consideração informações a respeito do sinal da diferença entre os valores comparados, além da magnitude destes, para ranqueá-los apropriadamente. O *ranking* é a peça chave para qualificação da

significância das diferenças entre os resultados neste método.

3.3.7.3 Instrumentação

Não houveram especificações ligadas a operação de instrumentos.

3.3.8 Ameaças à validade

O autor não menciona ameaças a validade.

4 Reprodução do Experimento

Muitos dos elementos descritivos foram omitidos aqui na reprodução por serem idênticos aos do experimento original.

4.1 Objetivos

Aqui o objetivo consiste apenas em validar ou questionar os resultados originais.

4.1.1 Design do experimento

Trata-se de uma reprodução do um experimento. A maior parte deste trabalho replica o experimento original.

Para testar a hipótese nula (a mesma do experimento original), doze (12) conjuntos de relações de preferência (pares de alternativas) foram gerados aleatoriamente para cada combinação possível de participantes ($E_m : m \in M = \{4, 6, 8, 10, 12\}$) e alternativas ($X_n : n \in N = \{4, 6, 8\}$). As diferentes funções de distância foram aplicadas, por sua vez, para mensurar consenso nos três níveis possíveis (pares

de alternativas, alternativas e relação geral), usando os três diferentes operadores quantificadores guiados OWA, tal como no experimento sob reprodução. Com isto, um modelo operacional de um sistema de CRP foi aplicado à este ambiente simulado e executado um total de $12 * |M| * |N| * 3 * 3 * 5 = 8100$ vezes.

No gráfico 1 abaixo, temos uma visão da dispersão dos dados gerados a partir de todas as simulações. Estes dados estão dispostos em um plano que coloca a distância utilizada em função do grau de consenso. Note que já é possível perceber uma nítida diferença no posicionamento dos percentis.

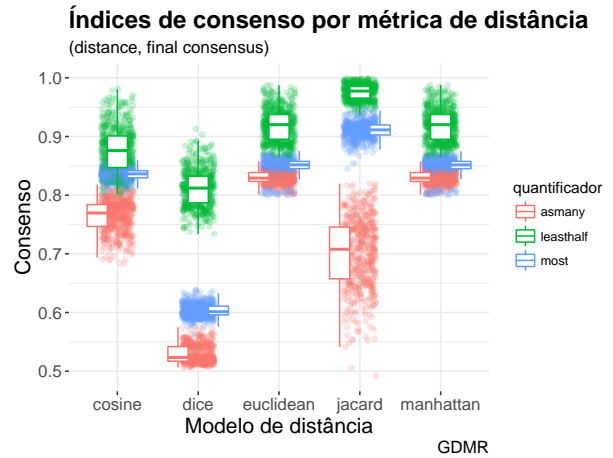


Gráfico 1: Gráfico de dispersão que nos dá uma visão geral dos dados tomando a distância em função do grau de consenso.

Todas as funções de distância foram analisadas aos pares, $d_i \times d_j : i = \{1, 2, 3, 4\}, j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ($\frac{5*5-5}{2} = 10$ testes). Assim, foram realizadas um total de $|M| * |N| * 3 * 3 * 10 = 1350$ análises.

4.2 Execução da reprodução

4.2.1 Fatores e variáveis de resposta

As variáveis independentes (e também fatores) utilizados no experimento original são repetidas aqui, além de mais duas utilizadas apenas nos questionamentos finais (em função das restrições de prazo):

- **Função de distância utilizada:** Uma dentre cinco funções tomadas como predominantes na literatura (variável de controle).
- **Total de participantes:** Número de participantes utilizados no processo de consenso (simulação) $E_m : m = \{4, 6, 8, 10, 12\}$.
- **Total de alternativas viáveis:** Número de alternativas de solução viáveis $X_n : n = \{4, 6, 8\}$.
- **Quantificadores Fuzzy:** Além das funções de distância, quantificadores de maioria Fuzzy podem ter influência no resultado. Aqui foram usados "most", "asmany" e "least-half".
- **Nível de consenso:** São relações de preferência entre alternativas associadas a maiores Fuzzy. São eles: (1) nível de pares de alternativas (compara cada alternativa entre si), (2) nível de alternativas (compara cada alternativa com as demais) e (3) nível da relação (comparação geral).
- **Compleitude*:** Grandeza $\alpha \in [0, 1]$ que vai de 0, onde a chance de um participante apontar sua preferência é aleatória, a 1, onde todos os participantes sempre apontam todas as suas preferências.

- **Coerência*:** Grandeza $\delta \in [0, 1]$ que define coerência nas preferências dos participantes com base em simetria e comutatividade. Como o autor original não trata desta variável, tomamos como 0 (sem verificação de coerência) para nossa reprodução.

Para as variáveis de resposta, incluí apenas mais uma, também apenas nos questionamentos finais (em função das restrições de prazo):

- **Grau de consenso:** Saldo final do processo de consenso que descreve o quão de acordo os participantes estão com o resulta: $cr \in [0, 1]$
- **Diferença entre índice inicial e final de consenso*:** Necessário para medir se o modelo de distância é excessivamente otimista ou pessimista.

*Variáveis de resposta e fatores que julgo necessários, mas que não são tratados no experimento original. Em função das restrições de prazo do curso de FPCC (fundamento de Pesquisa em Ciência da Computação), apenas reproduzi o experimento do autor original, deixando estes ajustes para trabalhos futuros.

4.2.2 Níveis dos fatores

Os níveis dos fatores e das variáveis de resposta estão definidos de acordo com as tabelas 2 e 3.

Fator	Níveis
Função de distância	{Manhattan, Euclidean, Cosine, Dice, Jaccard}
Participantes	{4, 6, 8, 10, 12}
Alternativas	{4, 6, 8}
Quantificadores	{most, leathalf, as-many}
Níveis	{1, 2, 3}
Compleitude	[0,1]
Coerência	[0,1]

Tabela 2: Níveis dos fatores utilizados na reprodução

Variável	Níveis
Grau de consenso	[0,1]
Diferença entre consenso inicial e final	[0,1]

Tabela 3: Níveis das variáveis de resposta utilizadas (ou apenas propostas) na reprodução

4.2.3 Execução

Tal como no experimento original, execução do experimento envolve apenas dois passos:

1. Execução de simulações de consenso. Uma para cada combinação de fatores.
2. Análise estatística dos resultados.

4.2.3.1 Simulações

Para a simulação, utilizei a plataforma R e a IDE RStudio para criar meu modelo operacional. O código fonte utilizou como base um software livre de apoio ao consenso chamado GDMR(Group Decision Making R)(Ureña et al. 2016). Daí um simulador simples foi desen-

volvido embutido no próprio código do modelo.

Para validação, me ative a apenas ao modelo operacional, por utilizar modelos conceituais já amplamente utilizados e validados na literatura (Cha 2007; Chen et al. 1995; M. M. Deza and Deza 2009; Wang, De Baets, and Kerre 1995; Chiclana et al. 2004; Chiclana et al. 2007; Dubois and Prade 1985; Fodor and Roubens, n.d.; Herrera, Herrera-Viedma, and Chiclana 2003; Klir and Folger 1988; Xu and Da 2003; Yager 1988; Zhou et al. 2008; Zhou et al. 2011; Kacprzyk 1986). Neste contexto, o gráfico abaixo (gráfico 2), onde o consenso inicial (aleatório) é representado no eixo “Y” e o consenso final no eixo “X”, demonstra o sucesso do meu modelo pela checagem $X - Y < 0$ sendo igual a “FALSE” em todos os casos. Observando também que todos os pontos estão abaixo da diagonal (indica que $x \geq y$, sempre). Com isto temos uma evidência da validade do modelo. A eficiência poderia ser validada por comparação a outro modelo já comprovadamente eficiente, porém isto não é viável (pelo menos não nos prazos da disciplina de FPCC). Em alternativa, utilizamos novamente a validação visual. Perceba no gráfico 3 que a maioria das soluções alcançam um nível aceitável de consenso de 0.8.

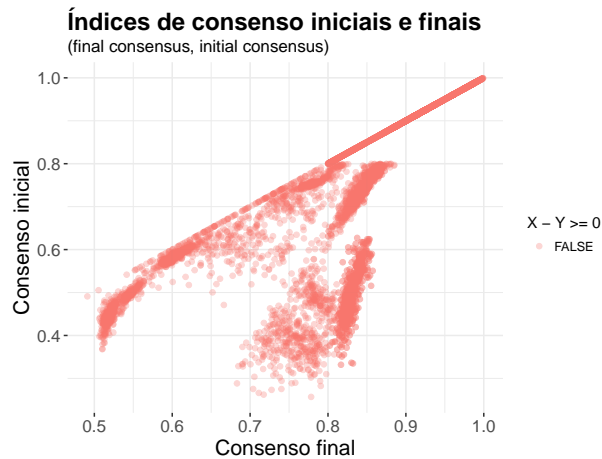


Gráfico 2: Demonstração de que o consenso inicial é sempre inferior ao final.

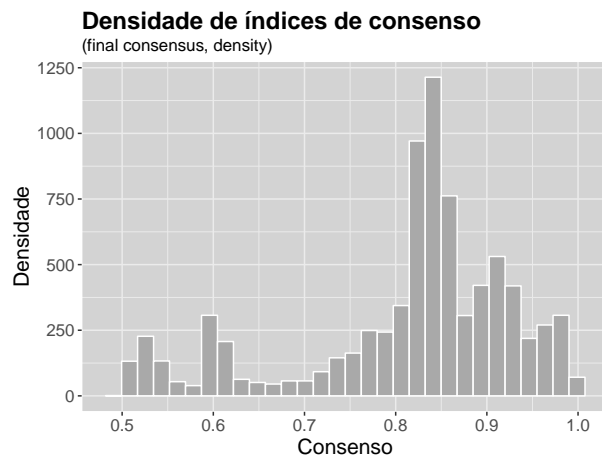


Gráfico 3: Densidade da variável "consenso final".

4.2.3.2 Os dados

A execução das simulações proporcionou um conjunto de dados de 8100 registros, sendo estes compostos pelos seguintes campos:

Campo	Tipo	valores
initial consensus	real	O grau de consenso inicial aleatório
final consensus	real	O grau de consenso final propriamente
iterations	inteiro	total de iterações até o consenso
distance	caracteres	o nome da função de distância
quantifier	caracteres	o nome do quantificador
experts	inteiro	o total de participantes
alternatives	inteiro	o total de alternativas
level	inteiro	o nível de consenso {1,2,3}
sample	inteiro	indica qual amostra aleatória foi utilizada (cada combinação de parâmetros tem 12 amostras)

Tabela 4: Campos no conjunto de dados

4.2.3.3 Análise

Para cada par de funções de distância em com-

paração foram analisadas duas amostras relacionadas, tal como no experimento original. Utilizando o método de reamostragem sem reposição *bootstrap* (Efron and Tibshirani 1997) podemos identificar a distribuição dos dados de consenso (pela mediana) para cada métrica de distância e para a diferença entre cada duas métricas. Observe que é possível visualizar uma distribuição gaussiana para a diferença entre as medianas de consenso para cada duas métricas, conforme o gráfico 4a abaixo, e para as medianas de consenso de cada métrica diretamente, conforme gráfico 4b.

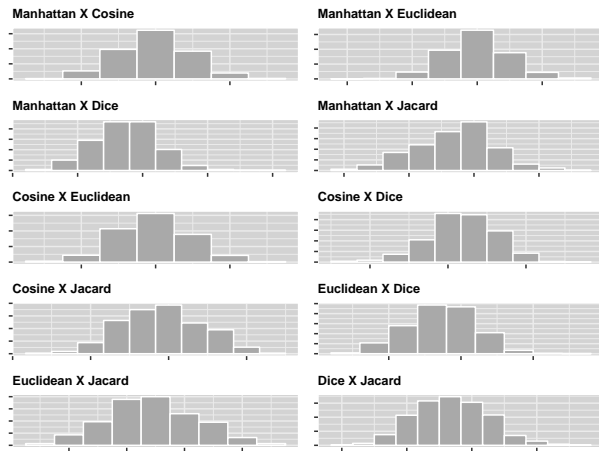


Gráfico 4a: Distribuição da diferença de consenso entre cada par de funções de distância.

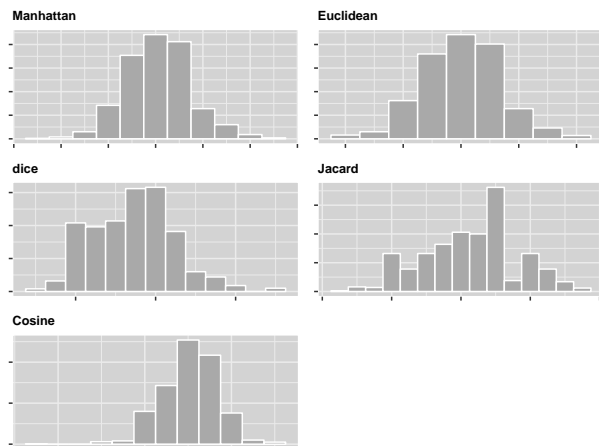


Gráfico 4b: Distribuição de consenso para cada função de distância.

O autor utilizou o teste não-paramétrico de Wilcoxon, porém, como já mencionado, pretendendo utilizar Intervalos de Confiança (Gardner and Altman 1986) com *Bootstrap* e Regressão Linear (Neter, Wasserman, and Kutner 1989). Intervalos de confiança para reproduzir o mesmo cenário do experimento original (substituindo o teste de Wilcoxon) e por ter a comprovação gráfica de que os dados seguem a distribuição normal. Regressão linear para obter uma informação definitiva do quanto a variação da função de distância descreve o comportamento dos dados, sem ignorar os demais fatores.

4.2.3.4 Instrumentação

Como já mencionado, utilizei a plataforma R e a IDE RStudio para criar meu modelo operacional. O código fonte utilizou como base um software livre de apoio ao consenso chamado GDMR (*Group Decision Making R*) (Ureña et al. 2016).

4.2.4 Ameaças à validade

4.2.4.1 Internas

Como ameaça a validade interna, posso apontar defeitos no código do modelo operacional ou do simulador. Para evitar tais ameaças, foram realizados testes no código do modelo (não apliquei uma metodologia de testes mais rigorosa em função das restrições de prazo da disciplina) e seu sistema base (GDMR) já contava com seus próprios testes (reportados pelo autor, mas não

disponibilizados publicamente). A validação do modelo operacional também evita ameaças internas.

4.2.4.2 De constructo

Não levar em consideração o índice de consenso inicial (aleatório) pode ser uma importante ameaça ao constructo. Como é possível observar no gráfico 5 abaixo, para o quantificador “*leasthalf*”, o consenso inicial e final são sempre iguais. Isto implica em uma função de distância demasiadamente otimista, mas que parece eficiente nos resultados. Esta ameaça só poderia, de fato, ser eliminada se mudássemos a variável de resposta do experimento de grau de consenso final para a diferença entre grau inicial e final de consenso.

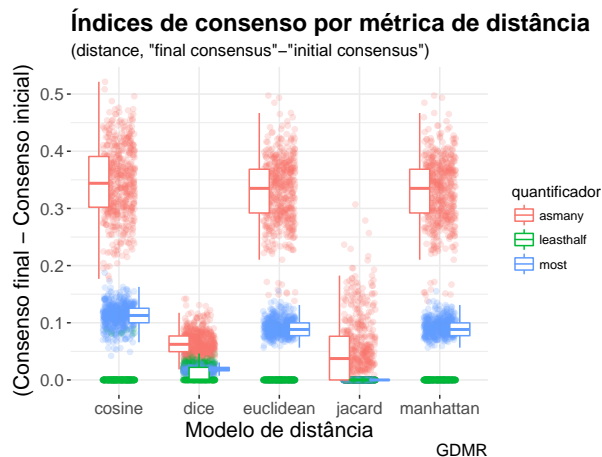


Gráfico 5: Gráfico de dispersão que nos dá uma visão geral do ganho no grau de consenso após o processo, tomando a diferença entre consenso inicial e final em função da distância.

Além da ameaça acima, o autor original (e este autor também, em função do prazo) negligenciou a informação “número de iterações necessárias ao consenso”, o que pode comprometer o resultado. Poucas iterações pode ser

signal de eficiência ou outro indício de excesso de otimismo. Diferenciar estas duas indicações poderia ser feita, novamente, tomando o consenso inicial como medida de otimismo (solucionando duas ameaças ao mesmo tempo).

4.2.4.3 Externas

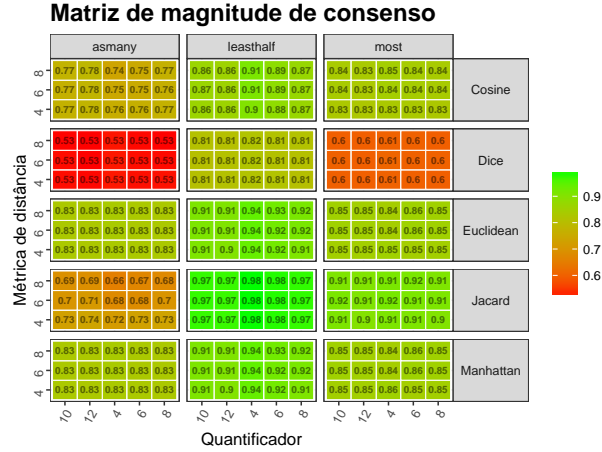
Ameaças externas só poderiam vir das plataformas de desenvolvimento e de análise aplicadas (R e RStudio). O que é pouco provável.

5 Resultados

Aqui trataremos dos resultados obtidos no nosso experimento fazendo um paralelo com os resultados do experimento original. Como dito anteriormente, utilizamos intervalos de confiança com *bootstrap* e regressão linear para analisar os dados.

5.1 Convergência

Em um primeiro momento, vamos analisar a magnitude ou convergência de consenso para cada função de distância, ainda sem comparações. O gráfico 6 abaixo exibe o centro do intervalo de confiança da mediana à 95% de confiança para cada conjunto de parâmetros {quantificador, função de distância, alternativas e participantes}.



\begin{footnotesize} Gráfico 6: Quadro de magnitudes de consenso com base em IC à 95% de significância e envolvendo quatro dos fatores do experimento (total de alternativas, total de participantes, quantificadores e distâncias).\end{footnotesize}

Observe no gráfico que as distâncias de Manhattan, Euclidiana, Cosseno e Jaccard parece ter boas medianas no geral. Porém, Dice tem valores muito baixos para o quantificador “asmany” e “most”. As distâncias de Euclides e de Manhattan tem valores praticamente iguais. Note ainda que não existem consensos piores que 0.5, o aleatório. Constatação que ser de evidência à validade do modelo.

Para finalizar, perceba que “leasthalf” apresenta os melhores índices de consenso. Lembrando que este quantificador apresenta uma importante ameaça a sua validade neste experimento (e por consequência no experimento original também), por demonstrar ser um modelo de distância muito otimista, atingindo o consenso algumas vezes sem nenhuma iteração.

5.2 Comparações

Comparações pareadas, tal como no experimento original, são o ponto de partida desta análise. Os gráficos 7a e 7b apresentam uma análise por intervalo de confiança e *bootstrap* para cada combinação de fatores tomados todos os pares de combinações. Aqui as métricas são comparadas em pares e, à 95% de confiança, caso o intervalo de confiança da diferença entre as medianas do grau de consenso medido não inclua zero, são classificadas como significativamente diferentes.

Para o gráfico 7a, no eixo x está cada valor utilizado para o parâmetro “total de participantes”, agrupado por quantificador. No eixo y estão os totais de alternativas utilizados, agrupados por nível de consenso. A escala e cores representa cada uma das 10 comparações possíveis, sendo o vermelho igual à 7 comparações e o verde igual à 9. Estas cores representam o total de comparações que apresentaram diferença à 95% de significância (o mínimo foi 7 e o máximo foi 9).

Para o gráfico 7b, o eixo x também mostra cada valor utilizado para o parâmetro “total de participantes”, agora agrupados por comparação entre distâncias. No eixo y estão os totais de alternativas utilizados, agrupados por nível de consenso. A escala e cores representa cada um dos 3 níveis de consenso, sendo o vermelho igual à 0 níveis e o verde igual à 3 níveis. Estas cores representam em que níveis tais comparações apresentam diferença à 95% de confiança.

Em particular, observando os gráficos abaixo,

podemos comparar nossos resultados a alguns dos resultados do experimento original.

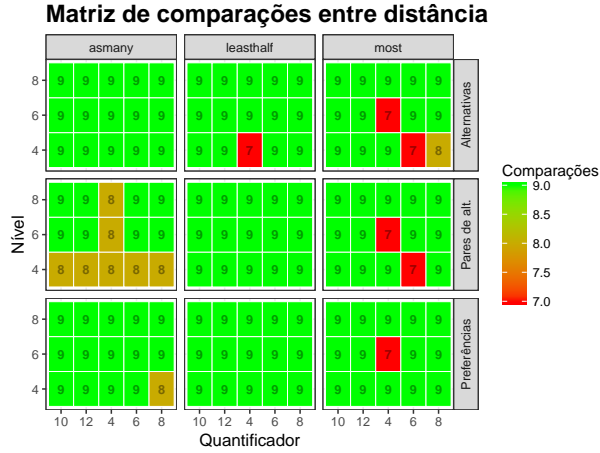


Gráfico 7a: Quadro de comparações com base em IC à 95% de significância e envolvendo quatro dos fatores do experimento (total de alternativas, total de participantes, quantificadores e níveis de consenso). A cor verde indica que 9 comparações entre distâncias apresentaram diferença. Já a cor vermelha, apenas 7.

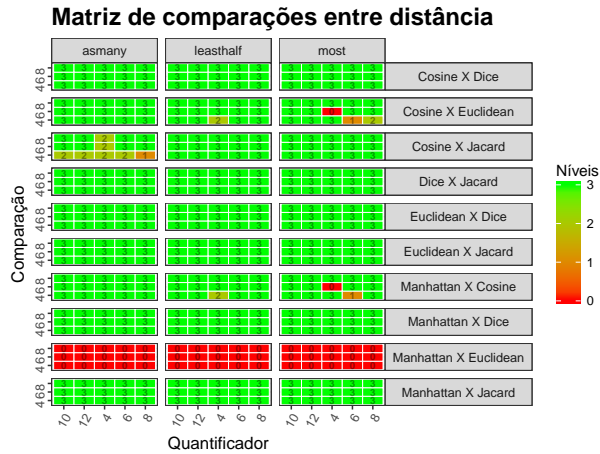


Gráfico 7b: Quadro de comparações com base em IC à 95% de significância e envolvendo quatro dos fatores do experimento (total de alternativas, total de participantes, quantificadores e comparações pareadas entre distâncias). A cor verde indica

que 3 níveis e consenso apresentaram diferença. Já a cor vermelha, zero.

Tal como o autor original propôs, analisarei cada nível de consenso separadamente.

5.2.1 Nível de pares de alternativas

Conforme resultado obtido no experimento original, perceba no gráfico 7a que o número de comparações que coincidem nunca diminui quando aumentamos o total de participantes e fixamos as alternativas. O mesmo ocorre se fixarmos as alternativas e aumentarmos os participantes. Como exceção para estas regras podemos apontar a coluna do quantificador “most” com quatro alternativas. Este resultado é coerente com o obtido no experimento original.

5.2.2 Nível de alternativas

Voltando ao gráfico 7a, tal como o autor reportou, a quantidade de comparações significativamente diferentes (à 95% de significância) aumenta a média que o total de participantes aumenta, salvo uma única exceção entre 4 e 6 participantes no quantificador “most” com quatro alternativas.

5.2.3 Nível de relacionamento geral

Para este nível o autor original faz apenas uma comparação em magnitude de consenso. Podemos fazer o mesmo com base no gráfico 6, além de notarmos no gráfico 7a a mesma regra dos níveis anteriores: quanto maior o número de participantes, maior a divergência.

No gráfico 6, observamos que há pouca ou nenhuma variação na magnitude do grau de consenso a medida que o número de participantes ou alternativas aumenta, conclusão que distoa dos resultados do autor original. Em concordância com os resultados originais, as distâncias de Manhattan e Euclidiana, equivalentes em quase todos os casos (segundo o gráfico 6 de magnitude), apresentam os maiores graus de consenso. Em seguida vem a distância Cosseno e Jaccard e por ultimo Dice. Vale frizar que para a análise da magnitude, como identificamos que o quantificador “*leathalf*” é excessivamente otimista, devemos levar os outros em maior consideração.

5.2.4 Sumarizando

Observando agora o gráfico 7b, tal como o autor original, não podemos afirmar nenhuma diferença entre as distâncias euclidiana e de Manhattan em nenhum dos três níveis. Tal resultado é interessante, visto que, de acordo com nossa análise de magnitude, a distância euclidiana e a distância de Manhattan, além da distância cosseno, apresentam os maiores graus de consenso no geral.

A distância cosseno também apresenta semelhanças pontuais com a distância euclidiana (para o quantificador “*most*” e 4 ou 6 participantes), com Jaccard em boa parte do quantificador “*as-many*” e com Manhattan em um padrão muito semelhante ao da distância euclidiana.

Com isto podemos concluir que podemos aplicar a distância Euclidiana ou a distância de Manhattan e ganharemos tanto na magnitude quanto com relação as demais funções de distância

(mesmo resultado do autor original). Não há distinção significativa mentre estas duas distância como pode ser comprovado no gráfica 7b, onde não foi identificado nenhuma diferença significativa em nenhum nível de consenso. Isto é coerente com o resultado do gráfico 7a, onde todas as células guardam pelo menos uma comparação diferente (a escala só vai até 9.0).

5.3 Regressão Linear

O modelo de regressão que propus seguirá a mesma lógica comparativa pareada do experimento original, analisando as distâncias duas à duas. Utilizamos duas estratégias associadas a regressão, o cálculo do R^2 e, novamente, o intervalo de confiança para cada coeficiente da equação linear resultante. Com isto, considerando sempre um $p \leq 0.05$, comprovamos as afirmações apontadas anteriormente e chegamos a algumas novas, conforme veremos em seguida.

5.3.1 Regressão e R^2

O R^2 mede o o quão um variável é capaz de descrever o comportamento da outra. No gráfico 8 apresento um quadro comparativo que colocado à lado o R^2 de cada um dos fatores do experimento para cada auma das dez comparações possível mais um cenário geral, sempre com um $p \leq 0.05$. Perceba no gráfico que o fator que melhor descreve o grau de consenso é o quantificador, chegando a um R^2 superior a 0.8 (o que significa que a variável quantificador descreve 80% do comportamento da variável consenso) para a comparação Manhatan X Euclidean (a mais promissora, de acordo com a análise ante-

rior), além de descrever 33% do comportamento no geral.

Tratando exclusivamente da relação entre consenso e distância, chegamos a um resultado um pouco diferente do que chegamos para Intervalos de confiança. Como antes, as distâncias de Manhattan e Euclidiana não apresentam diferença considerável à pelo menos 95% de significância. Já Jaccard, que na análise anterior parecia bem diferente das outras duas, agora interfere no consenso em apenas 0.034%, com relação a escolher as distâncias Euclidiana ou de Manhattan, à um $p \leq 0.05$. Resultado que distoa das análises anteriores e até do experimento original, onde utilizou-se teste de hipóteses. Perceba ainda que todas estas comparações incluem a distância de Manhattan e a distância Euclidiana, as mais promissoras em magnitude de consenso (de acordo com a análise anterior).

Entenda que na análise anterior, tal como fez o autor, não comparo magnitude de diferença, apenas as identifico com 95% de significância. Com base na natureza da análise feita, qualquer diferença significativa apareceria nos dados, ainda que de baixa magnitude. Por isto não percebemos semelhança entre Jaccard, Euclidean e Manhattan pela análise anterior (já que temos apenas um $R^2 \simeq 0.00034$).

Uma evidência da semelhança entre Jaccard e a dupla Euclidean e Manhattan pode ser retirado do gráfico 1, no início deste relatório. Perceba naquele gráfico que as distribuições das distâncias de Euclides e de Manhattan realmente são quase idênticas, porém a distância de Jaccard se aproxima muito das duas, exceto para o quan-

tificador “*asmany*”. Esta pode ser a causa para o modelo de regressão não ter identificado diferença considerável entre elas.

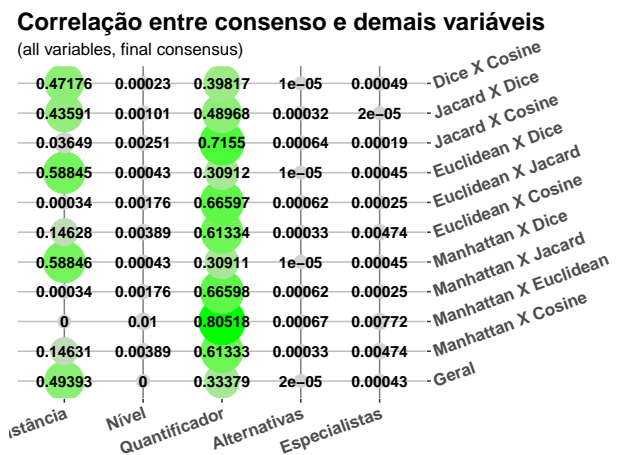


Gráfico 8: R^2 de cada fator do experimento para cada comparação separadamente e para um quadro de consenso geral.

5.3.2 Regressão Linear e Intervalos de Confiança

Para finalizarmos nossas análises por Regressão Linear e Intervalos de Confiança, vamos testar um modelo envolvendo as duas técnicas e todos os fatores ao mesmo tempo. Regressão linear definindo uma equação que descreve o comportamento dos dados e intervalos de confiança para cada coeficiente desta equação. Cada coeficiente, com seu respectivo intervalo de confiança, é considerado válido à pelo menos 95% de significância ($p \geq 0.05$).

O gráfico 9 apresenta um quadro que coloca lado a lado cada um dos valores descritos acima. Na coluna Termo, temos a variável proposta. Perceba que as variáveis categóricas (distância e quantificador) foram distribuídas em várias variáveis booleanas (cada uma pertencente ao domínio $\{0,1\}$), tomando sempre 1 como sendo

um valor específico (uma distância, por exemplo) e zero como sendo os demais valores. A coluna Coeficiente descreve o grau de influência linear daquele fator para a variável consenso. Limite inf. e Limite sup. representam os limites inferior e superior do intervalo de confiança de Coeficiente, respectivamente. Observando a coluna P-valor, vemos que nem todos os intervalos contam com mais de 95% de confiança.

Os intervalos de confiança das variáveis level e alternatives (dos dados, vide tabela 4), incluem zero. Porém, levando em consideração seus P-valor elevados (0.86 e 0.31 respectivamente), não podemos tirar conclusões sobre os resultados. Já a variável experts, cujo intervalo de confiança também inclui zero, conta com um P-valor < 0.05 (significância muito maior que 95%) e, por isso, podemos concluir que esta variável não exerce influência significativa na variável consenso.

Como era de se esperar, com base na análise anterior, os quantificadores exercem influência significativa no consenso. Já as distâncias tem comportamentos variados. Todas exercem alguma influência significativa junto ao consenso, porém para Dice esta influência é negativa. Como já jávamos constatado, a distância de Euclides e de Manhattan tem exatamente a mesma influência para o consenso. Jaccard tem uma influência muito similar às distâncias de Manhattan e de Euclides (coerente com resultado anterior). Como os intervalos de confiança de Manhattan, Euclides e Jaccard de interceptam, não podemos concluir se estas são de fato diferentes com base neste modelo.

Termo	Coeficiente	P-valor	Limite inf.	Limite su
distancedice	-0.1777	0.000000e+00	-0.1812	-0.1743
distanceeuclidean	0.0402	1.209516e-113	0.0368	0.0436
distancejaccard	0.0368	4.328609e-96	0.0334	0.0402
distancemanhattan	0.0402	1.145792e-113	0.0368	0.0436
quantifierleashtalf	0.1694	0.000000e+00	0.1667	0.1720
quantifiermost	0.0780	0.000000e+00	0.0754	0.0807
level	0.0001	8.576736e-01	-0.0012	0.0014
alternatives	-0.0003	3.118017e-01	-0.0010	0.0003
experts	-0.0009	7.132424e-06	-0.0013	-0.0005

Gráfico 9: Quadro de coeficientes lineares para cada fator em um modelo conjunto envolvendo todas as variáveis e as duas técnicas de análise utilizadas.

6 Considerações finais

Sumarizando, verificamos que as distâncias de Manhattan e de Euclides são as mais promissoras em termos de magnitude de consenso e são equivalentes à 95% ou mais de confiança. A distância de Jaccard é apenas ligeiramente inferior as duas primeiras. Dice é o modelo de distância menos recomendável para consenso e a distância Cosseno é o meio termo. Além disto, o modelo de Regressão Linear nos mostrou que a escolha dos quantificadores é uma decisão projetual muito mais crítica para sistemas de suporte ao consenso que a escolha da métrica de distância.

Para além deste experimento, poderia propor incluir as variáveis coerência e completude, propostos na nossa reprodução mas não aplicados. A verificação de coerência exigiria verificações e correções que, eventualmente, poderiam fazer o consenso retroceder. Uma completude inferior a

1.0 levaria o processo a lidar com incerteza. Um novo experimento para avaliar como estes modelos de distância se comportariam nestes casos poderia chegar a resultados diferentes.

Referências

Bezdek, James C, Bonnie Spillman, and Richard Spillman. 1978. “A Fuzzy Relation Space for Group Decision Theory.” *Fuzzy Sets and Systems* 1 (4). Elsevier: 255–68.

Butler, CT Lawrence, and Amy Rothstein. 2007. *On Conflict and Consensus: A Handbook on Formal Consensus Decisionmaking*. Citeseer.

Cabrerizo, Francisco Javier, Sergio Alonso, and Enrique Herrera-Viedma. 2009. “A Consensus Model for Group Decision Making Problems with Unbalanced Fuzzy Linguistic Information.” *International Journal of Information Technology & Decision Making* 8 (01). World Scientific: 109–31.

Cabrerizo, Francisco Javier, Juan Manuel Moreno, Ignacio J Pérez, and Enrique Herrera-Viedma. 2010. “Analyzing Consensus Approaches in Fuzzy Group Decision Making: Advantages and Drawbacks.” *Soft Computing* 14 (5). Springer: 451–63.

Cabrerizo, Francisco Javier, Ignacio J Pérez, and Enrique Herrera-Viedma. 2010. “Managing the Consensus in Group Decision Making in an Unbalanced Fuzzy Linguistic Context with Incomplete Information.” *Knowledge-Based Systems* 23 (2). Elsevier: 169–81.

Cha, Sung-Hyuk. 2007. “Comprehensive Sur-

vey on Distance/Similarity Measures Between Probability Density Functions.” *City* 1 (2): 1.

Chen, Shyi-Ming, Ming-Shiow Yeh, Pei-Yung Hsiao, and others. 1995. “A Comparison of Similarity Measures of Fuzzy Values.” *Fuzzy Sets and Systems* 72 (1): 79–89.

Chiclana, Francisco, JM Tapia García, Maria Jose del Moral, and Enrique Herrera-Viedma. 2013. “A Statistical Comparative Study of Different Similarity Measures of Consensus in Group Decision Making.” *Information Sciences* 221. Elsevier: 110–23.

Chiclana, Francisco, Francisco Herrera, and Enrique Herrera-Viedma. 1998. “Integrating Three Representation Models in Fuzzy Multipurpose Decision Making Based on Fuzzy Preference Relations.” *Fuzzy Sets and Systems* 97 (1). Elsevier: 33–48.

———. 2002. “A Note on the Internal Consistency of Various Preference Representations.” *Fuzzy Sets and Systems* 131 (1): 75–78.

Chiclana, Francisco, Enrique Herrera-Viedma, Francisco Herrera, and Sergio Alonso. 2004. “Induced Ordered Weighted Geometric Operators and Their Use in the Aggregation of Multiplicative Preference Relations.” *International Journal of Intelligent Systems* 19 (3). Wiley Online Library: 233–55.

———. 2007. “Some Induced Ordered Weighted Averaging Operators and Their Use for Solving Group Decision-Making Problems Based on Fuzzy Preference Relations.” *European Journal of Operational Research* 182 (1).

Elsevier: 383–99.

Deza, Michel Marie, and Elena Deza. 2009. “Encyclopedia of Distances.” In *Encyclopedia of Distances*, 1–583. Springer.

Dubois, Didier, and Henri Prade. 1985. “A Review of Fuzzy Set Aggregation Connectives.” *Information Sciences* 36 (1-2). Elsevier: 85–121.

Efron, Bradley, and Robert Tibshirani. 1997. “Improvements on Cross-Validation: The 632+ Bootstrap Method.” *Journal of the American Statistical Association* 92 (438). Taylor & Francis: 548–60.

Fodor, János, and Marc Roubens. n.d. “Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support. 1994.” Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Gardner, Martin J, and Douglas G Altman. 1986. “Confidence Intervals Rather Than P Values: Estimation Rather Than Hypothesis Testing.” *Br Med J (Clin Res Ed)* 292 (6522). British Medical Journal Publishing Group: 746–50.

Herrera, Francisco, Enrique Herrera-Viedma, and Francisco Chiclana. 2003. “A Study of the Origin and Uses of the Ordered Weighted Geometric Operator in Multicriteria Decision Making.” *International Journal of Intelligent Systems* 18 (6). Wiley Online Library: 689–707.

Herrera, Francisco, Enrique Herrera-Viedma, and others. 1996. “A Model of Consensus in Group Decision Making Under Linguistic Assessments.” *Fuzzy Sets and Systems* 78 (1). El-

sevier: 73–87.

Herrera, Francisco, Enrique Herrera-Viedma, and José L Verdegay. 1997. “Linguistic Measures Based on Fuzzy Coincidence for Reaching Consensus in Group Decision Making.” *International Journal of Approximate Reasoning* 16 (3). [New York, NY]: North-Holland, c1987-: 309–34.

Herrera-Viedma, Enrique, Francisco Herrera, and Francisco Chiclana. 2002. “A Consensus Model for Multiperson Decision Making with Different Preference Structures.” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans* 32 (3). IEEE: 394–402.

Kacprzyk, Janusz. 1986. “Group Decision Making with a Fuzzy Linguistic Majority.” *Fuzzy Sets and Systems* 18 (2). Elsevier: 105–18.

Kahraman, Cengiz, Da Ruan, and Ibrahim Doğan. 2003. “Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection.” *Information Sciences* 157. Elsevier: 135–53.

Klir, George J, and Tina A Folger. 1988. “Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information.” Prentice Hall.

Lehmann, Erich Leo, and Howard JM D’Abrera. 1975. “Nonparametrics: Statistical Methods Based on Ranks.” Holden-Day.

Martínez, L, and J Montero. 2007. “Challenges for Improving Consensus Reaching Process in Collective Decisions.” *New Mathematics and Natural Computation* 3 (02). World Scientific: 203–17.

Millet, Ido. 1997. “The Effectiveness of Al-

- ternative Preference Elicitation Methods in the Analytic Hierarchy Process.” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6 (1). Wiley Online Library: 41–51.
- Neter, John, William Wasserman, and Michael H Kutner. 1989. “Applied Linear Regression Models.” Irwin Homewood, IL.
- Orlovsky, SA. 1978. “Decision-Making with a Fuzzy Preference Relation.” *Fuzzy Sets and Systems* 1 (3). Elsevier: 155–67.
- Rohatgi, Vijay K, and AK MD Ehsanes Saleh. n.d. “An Introduction to Probability and Statistics.” Wiley Online Library.
- Saint, Steven, and James R Lawson. 1994. *Rules for Reaching Consensus: A Modern Approach to Decision Making*. Pfeiffer.
- Siegal, Sidney. 1956. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. McGraw-hill.
- Spillman, Bonnie, Richard Spillman, and James Bezdek. 1980. “A Fuzzy Analysis of Consensus in Small Groups.” In *Fuzzy Sets*, 291–308. Springer.
- Świtalski, Zbigniew. 2003. “General Transitivity Conditions for Fuzzy Reciprocal Preference Matrices.” *Fuzzy Sets and Systems* 137 (1). Elsevier: 85–100.
- Tanino, Tetsuzo. 1984. “Fuzzy Preference Orderings in Group Decision Making.” *Fuzzy Sets and Systems* 12 (2). Elsevier: 117–31.
- Ureña, Raquel, Francisco Javier Cabrerizo, Juan Antonio Morente-Molinera, and Enrique Herrera-Viedma. 2016. “GDM-R: A New Framework in R to Support Fuzzy Group Decision Making Processes.” *Information Sciences* 357. Elsevier: 161–81.
- Wang, Xuzhu, Bernard De Baets, and Etienne Kerre. 1995. “A Comparative Study of Similarity Measures.” *Fuzzy Sets and Systems* 73 (2). Elsevier: 259–68.
- Wilcoxon, Frank. 1945. “Individual Comparisons by Ranking Methods.” *Biometrics Bulletin* 1 (6). JSTOR: 80–83.
- Xu, Zeshui, and Qing-Li Da. 2003. “An Overview of Operators for Aggregating Information.” *International Journal of Intelligent Systems* 18 (9). Wiley Online Library: 953–69.
- Yager, Ronald R. 1988. “On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking.” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 18 (1). IEEE: 183–90.
- Zhou, Shang-Ming, Francisco Chiclana, Robert I John, and Jonathan M Garibaldi. 2008. “Type-1 Owa Operators for Aggregating Uncertain Information with Uncertain Weights Induced by Type-2 Linguistic Quantifiers.” *Fuzzy Sets and Systems* 159 (24). Elsevier: 3281–96.
- . 2011. “Alpha-Level Aggregation: A Practical Approach to Type-1 Owa Operation for Aggregating Uncertain Information with Applications to Breast Cancer Treatments.” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 23 (10). IEEE: 1455–68.