



Método Multicritério TOPSIS Aplicado à Satisfação de Usuários de Smartphones com os Sistemas Operacionais Android, iOS e Windows Phone

Marcos A. Alves¹, Lucas T. F. Souza²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. Laboratório Machine Intelligence and Data Science (MINDS Lab). Email: marcosalves@ufmg.br

²Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, 30535-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. Email: lucastadeus@hotmail.com

Resumo—A satisfação de usuários de *smartphones* está relacionada com diversos aspectos de interação que representam critérios avaliados na escolha do sistema operacional. Este estudo investiga a satisfação de uso com os sistemas operacionais móveis *Android*, *iOS* e *Windows Phone* e lida com tomada de decisão multicritério. Um questionário foi aplicado e 314 respostas obtidas. Os fatores avaliados e as notas obtidas através do questionário serviram como parâmetros para aplicação do método de tomada de decisão multicritério TOPSIS. O método ranqueou as três alternativas a partir de preferências sobre os aspectos Tela, Terminologia, Aprendizado e Recursos do Sistema. O *iOS* foi o melhor classificado nas avaliações propostas. O *Android* obteve a segunda colocação no aspecto Tela. Nas demais análises, o *Windows Phone* ficou em segundo e o *Android* em terceiro. Uma pequena variação nos pesos não alterou a ordem de classificação obtida. Embora o *ranking* tenda a refletir as preferências do decisor, novas investigações podem ser feitas com o emprego do método TOPSIS e sua relação com interface de dispositivos móveis.

Palavras-chave—Sistemas Operacionais Móveis, Dispositivos Móveis, Tomada de Decisão, TOPSIS.

Multicriteria TOPSIS Method Applied to the Satisfaction of Smartphone Users with the Android, iOS and Windows Phone Operating Systems

Abstract—Smartphone users' satisfaction is related to several factors of interaction that represent criteria evaluated in the choice of the operating system. This paper investigates the usage satisfaction of *Android*, *iOS* and *Windows Phone* mobile operating systems users' and deals with multicriteria decision making. A survey was applied and 314 answers were obtained. The evaluated criteria and the scores obtained through the survey were the initial parameters for the multicriteria decision-making method TOPSIS. The method classified the three alternatives based on preferences over screen, terminology, learning and system capabilities.

The *iOS* was the best classified in the proposed evaluations. *Android* got the second place in the Screen factors. In the others, *Windows Phone* was second and *Android* was third. A small variation in the weights did not change the order of classification found. Although ranking should reflect the decision makers preference, further investigations can be carried out using the TOPSIS method and its relationship to mobile devices interface.

Index Terms—Mobile Operating Systems, Smartphones, Decision Making, TOPSIS.

I. INTRODUÇÃO

NOVAS tecnologias têm atraído cada vez mais usuários para o uso de *smartphones*. Segundo dados da Anatel, o número de aparelhos no Brasil no início de 2017 ultrapassou 240 milhões de unidades vendidas e apresenta uma teledensidade superior a 1 aparelho por habitante [1].

Os sistemas operacionais (SO) *mobile* cada vez mais robustos buscam atrair a atenção dos utilizadores e oferecer uma experiência satisfatória. A escolha pelo sistema operacional é complexa e muitos fatores podem ser considerados no processo decisório.

A progressão de tecnologias ao longo dos anos forneceu aplicações complexas e com mais opções de interação [2]. Por outro lado, aumentou-se também o número de fatores associados à satisfação destes usuários. A relação entre a quantidade de funções disponíveis nos aparelhos e as expectativas dos usuários de tais sistemas operacionais aumentou consideravelmente [3]–[6]. Os autores destacaram que as expectativas em relação ao uso de um *smartphone* estão altas e equivalem a utilizar estes dispositivos como computadores pessoais, com a vantagem da mobilidade e a internet em alta velocidade.

Muitas pesquisas têm focado no desenvolvimento de melhorias para os sistemas operacionais existentes [7], porém frequentemente voltadas para o desenvolvimento e

avaliação de usabilidade de aplicativos ou novas linguagens [4], [8]–[10]. Além disso, muitos fatores, alguns conflitantes entre si, podem estar envolvidos com a satisfação e expectativas dos usuários. A tomada de decisão multicritério lida com este tipo de contexto. Entre os vários métodos multicritério disponíveis [11], o método TOPSIS [12] se popularizou devido à sua simplicidade de implementação e versatilidade aos problemas que envolvem teoria da decisão.

Métodos de Tomada de Decisão Multicritério oferecem um sólido suporte matemático onde as preferências do especialista são refletidas no processo decisório. Estes métodos vêm sendo extensivamente utilizados na literatura e são aplicados a inúmeros campos de pesquisa [11], [12]. Todos os métodos partem da decomposição do problema em uma matriz de decisão. Alternativas e critérios são explicitados e cada método busca oferecer um *ranking* das alternativas de uma forma diferente.

Esta pesquisa visou aplicar o método multicritério TOPSIS para ranquear a preferência entre os sistemas operacionais *Android*, *iOS* e *Windows Phone* baseados em critérios de satisfação de seus usuários. Estes sistemas foram escolhidos por serem os mais conhecidos e utilizados no mercado [13]. Basicamente, este artigo se divide em duas partes: a primeira foi a adaptação e aplicação de um questionário fiável a um grupo alvo, buscando medir suas expectativas em relação a diversos critérios de interação. A segunda foi a aplicação de um método multicritério sobre a base de dados obtida de forma a ranquear as alternativas de acordo com as avaliações dos usuários sobre tais sistemas.

Este artigo lida com satisfação de usuários dos sistemas operacionais *mobile Android*, *iOS* e *Windows Phone* e tomada de decisão multicritério. Este trabalho apresenta o conforto e aceitabilidade de 314 usuários em 23 critérios de usabilidade divididos entre Tela, Terminologia, Aprendizado e Recursos do Sistema. Posteriormente foi proposta a aplicação de um método multicritério a fim de ranquear as alternativas para os usuários (i.e. sistemas operacionais) com base nos valores que eles explicitaram no questionário. Os dados coletados e a classificação de cada alternativa é apresentada no artigo. A abordagem utilizada indica a possibilidade de combinar dados coletados de usuários e posterior classificação das alternativas, oferecendo maior clareza e assertividade na tomada de decisão. Apesar da importância desse problema de pesquisa e do amplo uso do TOPSIS, na literatura acadêmica não foram encontrados estudos que apliquem este método para classificar os sistemas operacionais móveis dadas as preferências dos decisores em critérios de usabilidade.

A organização desta pesquisa é a seguinte: a seção II apresenta os trabalhos relacionados e apresenta sucintamente o método multicritério utilizado nesta pesquisa; seção III apresenta a metodologia para a coleta de dados e como se deu o processo de tomada de decisão; seção IV apresenta os resultados obtidos quanto à satisfação dos usuários e a ordenação das alternativas; seção V apresenta as considerações finais e apontamentos de trabalhos futuros;

por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste artigo.

II. CONTEXTUALIZAÇÃO E TRABALHOS RELACIONADOS

ESTA seção trata alguns trabalhos relacionados e motivadores desta pesquisa em relação a satisfação de usuários de *smartphones*. Em seguida, o tema de tomada de decisão multicritério é também brevemente abordado e o método TOPSIS, utilizado nesta pesquisa, é descrito.

A. Satisfação de Usuários de Smartphones

A satisfação dos usuários de *smartphones* vêm sendo investigada na literatura em diversas vertentes. França *et al.* [4] investigaram a aceitação de aplicativos móveis por alunos de uma instituição de ensino. Os autores empregaram o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e obtiveram 251 respostas. Fatores como utilidade percebida, intenção de uso e facilidade de uso percebida foram destacados pelos autores como importantes itens considerados pelos entrevistados. Mesmo utilizando outra abordagem (TAM) para avaliação de aceitação de tecnologias, os autores não mencionam tomada de decisão na pesquisa.

Alves [3] utilizou um questionário adaptado do *Questionnaire For User Interaction Satisfaction* (QUIS) [14] para investigar critérios associados a usabilidade de *smartphones* com os sistemas móveis *Android* e *iOS*. Entre os pontos avaliados, o *iOS* obteve melhores escores na maioria dos itens entre as 188 respostas obtidas. Através da associação com diagramas de Pareto, que indica que a maioria dos problemas encontrados tem poucas causas, o autor elencou 7 fatores no *Android* e 6 no *iOS* que concentram a maior parte das notas entre 1 e 5 obtidas pelo questionário. Assim, a abordagem proposta estava de acordo com o princípio de Pareto e o autor concluiu que com a melhoria destes poucos fatores a satisfação com tais sistemas seria maior. Nessa pesquisa não foram incluídos os usuários do *Windows Phone* e o autor poderia ter aplicado algum método multicritério para apresentar ao leitor qual a alternativa preferida.

Moumane, Idri e Abran [5] propuseram um estudo empírico baseado em um conjunto de medidas para avaliar a usabilidade de aplicativos móveis que funcionavam em diferentes sistemas operacionais. Para isto, eles coletaram opiniões de 32 usuários que utilizavam os sistemas operacionais, incluindo *Android*, *iOS* e *Symbian*. Os autores utilizaram o QUIS para mensurar satisfação e Norma ISO 9241 e ISO 25062 para avaliação de usabilidade. Os resultados indicaram um conjunto de ações que devem ser observadas quanto à usabilidade dos dispositivos, como a relação positiva entre o tamanho de tela e a facilidade de utilizar o *smartphone*. A escolha pelo *smartphone* deveria ser pautada nos critérios do QUIS relacionados a Tela, Aprendizado e Recursos do sistema que foram utilizados para avaliação da qualidade dos aplicativos e para indicar possíveis limitações dos dispositivos móveis.

Choi e Lee [2] investigaram fatores de simplicidade da interface. A fusão entre estética visual, *design* de informação e complexidade de tarefas compunham o diagrama

conceitual do modelo proposto. O modelo apontou resultados interessantes como a relação entre a complexidade da tarefa como medida crucial de simplicidade, uma vez que este fator está relacionado com a assertividade da ação do usuário em uma determinada tarefa. Os autores apontaram também que o *design* de interface simplificado contribui para melhores avaliações de satisfação. Muito voltado à avaliação de usabilidade, especificamente simplicidade de interação, os autores não mencionam análise multicritério para auxílio aos usuários.

Por fim, de acordo com pesquisas anteriores [1], [3], [5], [13] os sistemas operacionais *Android*, *iOS* e *Windows Phone* detêm quase a totalidade do mercado de *smartphones*. Estes números explicam muitas pesquisas na área, embora é sabido que as companhias desenvolvedoras possam adotar ou não tais medidas. A competição por fatia de mercado e a fidelização de clientes justificam a continuidade dos estudos. As pesquisas focam em muitos aspectos neste campo: avaliações de usabilidade, interações entre usuários, avaliações de aplicativos, novas ferramentas etc. Nota-se que muitos fatores estão associados a satisfação dos usuários e diferentes formas de avaliação podem ser aplicadas ou propostas para mensurar os aspectos desta interação.

B. Tomada de Decisão Multicritério

A Tomada de Decisão Multicritério (MCDM - do inglês *Multicriteria Decision Making*) é essencialmente empregada no nível gerencial [11]. Métodos MCDM buscam classificar as alternativas disponíveis de acordo com critérios estabelecidos. Diversos métodos estão disponíveis na literatura [11], [12], [15], [16]. Suas aplicações são muitas e em diversos campos de pesquisa, pois auxiliam na resolução de problemas da vida real onde o decisor se depara com mais de uma alternativa e critérios conflitantes entre si.

Comumente o método MCDM decompõe o problema em uma matriz de decisão entre critérios e alternativas. Como é muito raro haver alternativas que maximizam todos os critérios simultaneamente, torna-se necessária uma abordagem que indique ao decisor uma solução que seja subótima em determinados critérios. A importância de cada critério é dada pelo decisor antes de invocar o método multicritério. A partir daí, utilizando diferentes funções matemáticas, cada método propõe uma classificação ao decisor para cada alternativa.

Neste ponto, cabe ao decisor aceitar ou não aquele *ranking* e implementar a melhor alternativa.

C. Método Multicritério TOPSIS

O método TOPSIS, Técnica de Ordem de Preferência por Semelhança a uma Solução Ideal, ou *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, proposto por Hwang [12] se baseia em escolher uma alternativa que esteja o mais próximo possível da solução ideal positiva e o mais distante possível da solução ideal negativa. A primeira maximiza os benefícios e minimiza o custo, enquanto a outra maximiza o custo e minimiza o benefício.

Os seguintes passos são utilizados para o método TOPSIS (adaptado de [15], [16]):

- 1) Definir uma matriz de decisão D composta por alternativas e critérios. A_i , $i = 1, \dots, n$ representa as alternativas viáveis, C_j , $j = 1, \dots, m$ representa os critérios de decisão, x_{ij} indica o desempenho da alternativa A_i segundo o critério C_j . O vetor de pesos $W = w_1, \dots, w_m$ representa os pesos individuais de cada critério, sendo $w_j \geq 0$ e $\sum_{i=1}^m w_j = 1$, mandatório para avaliação dos critérios.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_n & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{matrix} \quad (1)$$

- 2) Determinar a matriz de decisão normalizada (NDM) a partir da matriz D que vai representar a pontuação das alternativas geradas. O valor normalizado r_{ij} é calculado como

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

- 3) Determinar a matriz de decisão normalizada ponderada (WNDM). O valor normalizado ponderado v_{ij} é obtido pela multiplicação de cada elemento de cada coluna da matriz de decisão normalizada (NDM) pelos pesos dos critérios.

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad (3)$$

- 4) Determinar a Solução Ideal Positiva (PIS, A^+) e a Solução Ideal Negativa (NIS, A^-) pelas equações a seguir:

$$A^+ = \{max_i v_{ij} | i \in J'\}; (\min_i v_{ij} | i \in J'') \quad (4)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | i \in J'); (max_i v_{ij} | i \in J'')\} \quad (5)$$

onde J' é associado com critério de benefício e J'' é associado a critério de custo.

- 5) Para cada alternativa avaliada, calcular a distância D_i^+ entre os valores de desempenho normalizados e ponderados da matriz (3) e os valores da PIS e a distância D_i^- e os valores da NIS.

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (6)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (7)$$

- 6) Calcular o coeficiente de aproximação (*Closeness Coefficient*, CC_i) de acordo com (8), o qual corresponde ao desempenho global das alternativas.

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (8)$$

- 7) Classificar em ordem decrescente as alternativas. A alternativa com CC_i mais próximo de 1 é a melhor ranqueada.

III. METODOLOGIA DE PESQUISA

A. Sobre o questionário aplicado, público-alvo e sistemas operacionais investigados

O questionário aplicado foi inspirado no QUIS (*Questionnaire For User Interaction Satisfaction*) versão 7.0. Esta ferramenta foi desenvolvida no *Laboratory for Automation Psychology and Decision Processes* (LAPDP), na Universidade de Maryland. Ele se configura uma ferramenta fiável e fundamentalmente utilizado para medir a satisfação subjetiva do usuário quanto a usabilidade de uma interface [3], [14], [17].

O questionário aplicado estava em uma escala Likert de 1-9 pontos. Foi utilizada esta pontuação para a escala, pois em pesquisas anteriores a mesma apresentou bons resultados [18]. A Tabela I apresenta os critérios avaliados.

O pior caso corresponde a nota 1 e o melhor caso corresponde a nota 9. Isto quer dizer que os valores qualitativos são traduzidos em quantitativos a partir da avaliação feita pelo entrevistado, variando sempre do pior ao melhor caso.

Com a finalidade de obter dados de uma população mais similar entre si [19], o questionário foi aplicado para alunos ou ex-alunos de cursos da área de Gestão (Administração, Gestão Pública e Gestão Hospitalar), Computação (Sistemas de Informação e Ciências da Computação) e Engenharias. Embora entenda-se que delimitar a pesquisa possa não representar toda uma população, os autores defendem que aplicar a um grupo muito heterogêneo poderia não tornar as respostas fiéis à pesquisa, uma vez que já foi constatado que condição socio-econômica, por exemplo, pode trazer diferentes graus de satisfação do usuário [10].

Os sistemas operacionais e as respectivas versões consideradas neste estudo foram: *Android* (versão 4.0 ou superior), *iOS* (7 ou superior) e *Windows Phone* (7 ou superior). Estes sistemas operacionais representam quase a totalidade do mercado de *smartphones* no Brasil [13]. Sabe-se que o *iOS* e o *Windows Phone* são sistemas dedicados a determinados *hardwares*, enquanto o *Android* pode ser utilizado por várias marcas e modelos. Contudo, a avaliação sobre as versões mais recentes dos sistemas auxilia entender a relação de expectativas dos usuários com este sistema que é o mais popular no mercado [13]. É importante ressaltar que esta pesquisa considerou apenas os critérios de usabilidade, não havendo, portanto, influência do hardware utilizado sobre os resultados obtidos.

Como a escala do questionário foi em formato Likert 1-9 pontos, utilizou-se a média das notas para quantificar quais os níveis de satisfação dos usuários entrevistados

em cada fator e para cada sistema operacional. Apenas para esclarecer, comumente a média é criticada por ser sensível a *outliers*. Todavia, como todas as respostas do questionário estavam em um intervalo de 1 a 9 pontos não dava margem para que o entrevistado fornecesse um valor discrepante que pudesse afetar a média.

Os dados foram codificados e carregados no software R. Para fins estatísticos foi adotado um intervalo de confiança de 95%, implicando em um nível de significância $\alpha = 0.05$.

B. Tomada de Decisão

Para a implementação do método de tomada de decisão multicritério TOPSIS, foram considerados os três sistemas operacionais como as possíveis alternativas de escolha entre os usuários: A_1 : *Android*, A_2 : *iOS* e A_3 : *Windows Phone*. Os critérios, conforme representados na Tabela I, representavam fatores de interação com o sistema operacional em 4 aspectos diferentes: Tela (C_1 - C_4), Terminologia (C_5 - C_9), Aprendizado (C_{10} - C_{18}) e Recursos do Sistema (C_{19} - C_{23}).

O método TOPSIS é um método versátil, de fácil implementação computacional e pode ser aplicado a uma vasta gama de problemas de tomada de decisão [11], [12], [15], [16].

A Tabela II representa a matriz de decisão para o problema proposto e contém as notas reais utilizadas na pesquisa, o que torna a pesquisa mais facilmente replicável. A nota de cada alternativa é a média das avaliações dos usuários de um dos sistemas operacionais para aquele critério específico. Como as notas obtidas pelo questionário foram em escala Likert 1-9 pontos, as respostas devem estar entre estes valores. Entende-se, portanto, que $\mu_{11} = 7.24$ representa a média de todas as avaliações para a alternativa A_1 (*Android*) quanto ao critério C_1 (Os leiautes das telas são úteis: nunca - sempre), $\mu_{12} = 7.11$ a média das notas da alternativa A_1 quanto ao critério C_2 (A sequência das telas é: confusa - clara) e assim sucessivamente para os 23 critérios ($j = 1, 2, \dots, 23$) e 3 alternativas ($i = 1, 2, 3$).

Diferentes julgamentos de pesos foram realizados para explicitar os resultados e possíveis alterações no *ranking*. Alguns destes pesos foram dados de forma arbitrária, pois o intuito era que cada um representasse as preferências do decisor em um conjunto de critérios. Os seguintes julgamentos foram realizados:

- 1) Judg-1: Pesos que favorecem os critérios relacionados a Tela ($w_{c_1} - w_{c_4} = 0.6$);
- 2) Judg-2: Pesos que favorecem Terminologia ($w_{c_5} - w_{c_9} = 0.6$);
- 3) Judg-3: Pesos que favorecem Aprendizado ($w_{c_{10}} - w_{c_{18}} = 0.6$);
- 4) Judg-4: Pesos que favorecem Recursos do Sistema ($w_{c_{19}} - w_{c_{23}} = 0.6$);
- 5) Judg-5: Pesos baseados no desvio padrão.

Nos quatro primeiros julgamentos (Judg-1 a Judg-4) deu-se de forma arbitrária um peso maior para os critérios

TABELA I
CRITÉRIOS AVALIADOS NO QUESTIONÁRIO APLICADO

Critério	Descrição	Pior caso	Melhor caso
C_1	Os leiautes das telas são úteis	nunca	sempre
C_2	A sequência das telas é	confusa	clara
C_3	Próxima tela em uma sequência	imprevisível	previsível
C_4	Voltando à tela anterior	difícil	fácil
C_5	Sistema mantém informado sobre o que está fazendo	nunca	sempre
C_6	Execução de uma operação conduz a um resultado previsível	nunca	sempre
C_7	As mensagens de erro, quando aparecem, são	inúteis	úteis
C_8	Mensagens de erro esclarecem o problema	nunca	sempre
C_9	Explicação significativa quando acontecem erros	inúteis	úteis
C_{10}	Aprender a operar o sistema é uma tarefa	difícil	fácil
C_{11}	Aprendizagem de recursos avançados	difícil	fácil
C_{12}	Tempo para aprender a usar o sistema	lento	rápido
C_{13}	Exploração de recursos por tentativa e erro	desanimador	animador
C_{14}	Explorar recursos do aparelho é uma tarefa	arriscada	segura
C_{15}	Descobrir novos recursos é uma tarefa	difícil	fácil
C_{16}	Lembrando nomes e uso de comandos	difícil	fácil
C_{17}	As tarefas podem ser realizadas de uma forma simples e direta	nunca	sempre
C_{18}	Passos para completar uma tarefa seguindo uma sequência lógica	nunca	sempre
C_{19}	Disponibilidade de backup dos dados	nunca	sempre
C_{20}	Disponibilidade de atualização do sistema operacional	nunca	sempre
C_{21}	Serviço de localização em caso de perda/roubo	impossível	possível
C_{22}	Personalização de itens	difícil	fácil
C_{23}	Informações sobre o progresso de downloads	nunca	sempre

TABELA II
MATRIZ DE DECISÃO COM A MÉDIA DAS ALTERNATIVAS EM RELAÇÃO A CADA CRITÉRIO

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}
A_1 : Android	7.24	7.11	7.05	7.03	6.40	6.76	5.41	5.06	5.37	7.63	6.60	7.29	6.56	6.65	6.73	6.60	6.88	7.05	6.46	6.36	5.65	6.46	7.65
A_2 : iOS	7.78	7.75	7.60	7.57	6.88	7.31	6.61	6.16	6.40	7.46	6.78	7.25	6.84	7.58	7.18	7.10	7.43	7.43	7.45	7.81	7.93	6.40	7.49
A_3 : WP	6.73	7.17	7.10	7.33	6.50	6.93	5.97	5.77	6.03	7.53	6.30	7.03	6.50	6.77	6.37	6.87	6.83	6.93	7.10	6.93	6.47	6.43	7.40

que compõem aquele aspecto avaliado. Para Judg-1 significa dizer que a soma dos pesos distribuídos dos critérios C_1 a C_4 foi igual a 0.6 pontos. 0.4 foi igualmente distribuído entre os demais critérios, de C_5 a C_{23} . Assim, buscou manter as preferências sobre cada grupo e investigar a classificação das alternativas. No Judg-5 os pesos foram baseados no desvio padrão, porém utilizou-se o inverso desta medida. Sabe-se que o desvio padrão mensura a dispersão em torno da média populacional. Logo, quanto menor a dispersão, maior o peso atribuído àquele critério.

Entende-se que os pesos também podem ser baseados na avaliação dos usuários de tal forma que cada critério receberá o peso proporcional à nota média obtida. Como estes parâmetros já foram utilizados como a pontuação para as alternativas, a avaliação por conjunto de critérios foi adotada nesta pesquisa, visto que essa estratégia é a mais comum quando os usuários de *smartphones* decidem escolher seus dispositivos.

C. Limites da Pesquisa

Acredita-se que a simulação considerando os fatores de certos aspectos da interface representam possíveis escolhas do decisor. Entretanto, entende-se que novas avaliações possam ser consideradas, como combinação de critérios, diferentes pesos para os critérios dadas a importância do decisor ou considerando cada critério separadamente.

O estudo limitou-se a investigar a satisfação de usuários de um grupo específico de usuários: graduandos ou graduados em Gestão, Computação ou Engenharias. Entende-se que esta pesquisa pode ser continuada uma vez que novos grupos possam ser incluídos. Pesquisas anteriores revelaram que pessoas de baixa renda, por exemplo, com *smartphones* com baixa resolução apresentaram mais erros no uso de aplicações do que os demais avaliados [10]. Assim, entende-se que novos grupos podem revelar uma ordem diferente da que foi apresentada neste artigo, uma

vez que pode ser incluído pessoas de faixas de renda diferentes, outros tipos de aparelhos etc. Porém, cuidados devem ser tomados para que esta população avalie apenas o sistema operacional, excluindo qualquer relação com o *hardware*.

O estudo empregou o método TOPSIS devido a sua simplicidade de implementação computacional e versatilidade de aplicação em diversos campos [15], porém outros métodos estão disponíveis na literatura [11] e podem ser aplicados, inclusive comparando a classificação entre eles, caso sejam diferentes. Por fim, este estudo focou em avaliação de interfaces de *smartphones* e não considerou avaliação de aplicativos ou proposta de nova tecnologia, como trabalhos anteriores [2], [4], [5], [7], [8].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

FORAM obtidas um total de 314 respostas válidas¹. As respostas provenientes de outros sistemas operacionais e de usuários fora do grupo pesquisado foram desconsideradas. A Tabela III apresenta os dados obtidos pela aplicação do questionário para cada sistema operacional entre os cursos de Gestão, Computação e Engenharias. A quantidade maior de respostas obtidas para o sistema operacional *Android*, seguida por *iOS* e *Windows Phone* corrobora as pesquisas da IDC [13]. Estes três sistemas operacionais dominam o mercado de *smartphones*, sendo que apenas o *Android* representa um número maior em fatia mercado comparado à soma dos outros dois.

TABELA III
RESPOSTAS OBTIDAS COM O QUESTIONÁRIO

SO	N	Cursos			% acumulado
		Gestão	Comp.	Eng.	
Android	217	29	106	82	69.1
iOS	67	13	21	33	90.4
WP	30	2	15	13	100.0

A Figura 1 representa uma comparação entre a satisfação dos usuários dos três sistemas operacionais avaliados. Note que o *iOS* apresentou as maiores avaliações com intervalo interquartil entre 6 e 8 pontos e média próxima de 8 pontos. Ele foi superior aos outros dois sistemas. Já os SO *Android* e *Windows Phone* apresentaram intervalo interquartil similares, próximo de 6 a 7 pontos, todavia o *Android* apresenta menor média que o *iOS*. Uma análise de variância foi conduzida afim de fazer múltiplas comparações entre os sistemas. Os resultados sugerem que existe diferença estatisticamente significativa no modelo (p-valor = 0.00143). Esta diferença pode ser observada através da Figura 2. Se $A2-A1 > 0$, sugere que A2 é maior que A1. Do mesmo modo que $A3-A2 < 0$, sugere que A2 é maior também que A3. A1-A3 não tem diferença.

A tomada de decisão envolveu a implementação do método TOPSIS conforme passos descritos na subseção II-C. Os valores de cada alternativa foram obtidos pelas

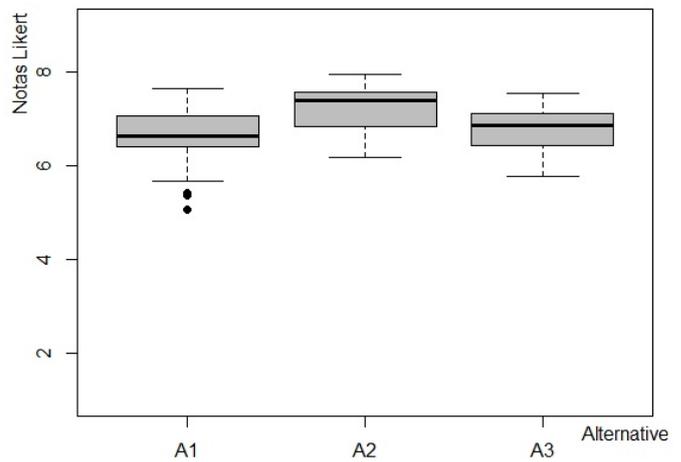


Fig. 1. Notas obtidas pelos três sistemas operacionais

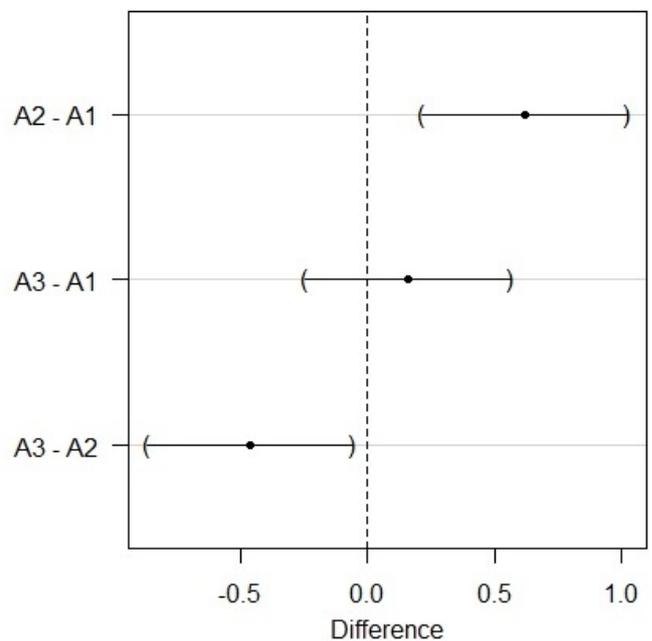


Fig. 2. Comparação das médias entre os sistemas operacionais

médias das notas provenientes do questionário entre cada sistema operacional para cada critério avaliado. Os pesos dos critérios foram propostos de forma a refletir as preferências do decisor. Julgou-se como mais importância cada aspecto da interface, seja Tela, Terminologia, Aprendizado ou Recursos do Sistema.

Em seguida aplicou-se o método TOPSIS, considerando as 3 alternativas e os 23 critérios. Conforme descrito anteriormente, dada a matriz de decisão D, o método normaliza os dados (NDM), pondera as avaliações com base no valor das alternativas e dos pesos de cada critério (WNDM), calcula as distâncias baseadas na solução ideal positiva (PIS, A⁺) e negativa (NIS, A⁻) e por fim o coeficiente de aproximação (CC_i). O ranking final obtido corresponde à ordem decrescente do CC_i.

A classificação de cada alternativa com os respectivos

¹www.dropbox.com/s/un5i0f61lxkfm9e/FMSI2017.txt?dl=0

CC_i obtida através da aplicação do método de tomada de decisão multicritério TOPSIS é apresentada na Tabela IV.

TABELA IV
ORDEM DE CLASSIFICAÇÃO CONSIDERANDO PREFERÊNCIAS SOBRE CONJUNTOS DE CRITÉRIOS

	Judg-1		Judg-2		Judg-3		Judg-4		Judg-5	
	CC_i	Ord.								
A_1	0.2888	2	0.0565	3	0.2256	3	0.0858	3	0.1676	3
A_2	0.9790	1	0.9833	1	0.9320	1	0.9477	1	0.9466	1
A_3	0.2291	3	0.5261	2	0.3083	2	0.4002	2	0.3874	2

A alternativa melhor classificada foi A_2 : *iOS* com coeficientes de aproximação CC_i (eq. (8)) de 0.9790, 0.9833, 0.9320, 0.9477 e 0.9466 para os julgamentos de Judg-1 a Judg-5, respectivamente. A boa avaliação e preferência pelo *iOS* pode ser observado na Tabela II. Sua média foi superior nos quatro grupos avaliados.

Como os métodos multicritério tendem refletir as preferências do decisor, espera-se que ao dar um peso maior a um determinado conjunto de critérios, as alternativas melhores avaliadas naquele grupo se sobressaiam. Assim, mesmo que A_2 não tenha tido a melhor avaliação em todos os critérios individualmente, ela se sobressai com boa pontuação quando o TOPSIS normaliza e pondera os valores da matriz de decisão. A alternativa segundo melhor colocada foi A_1 quando diz respeito a Tela e A_3 para Terminologia, Aprendizado e Recursos do Sistema. A_3 recebeu baixas notas no critério C_1 , bem inferior que A_1 . Como nos critérios C_2 a C_4 este sistema obteve médias similares à A_1 , o CC_i de ambos na classificação final foi próximo: 0.2888 para A_1 e 0.2291 para A_3 . Considerando que não houve diferença entre A_1 - A_3 , a diferença na classificação destas alternativas não pode ser considerada significativa. A baixa avaliação no C_1 pode ter sido o motivo para que A_3 tenha ficado na terceira posição no Judg-1. Já nos julgamentos Judg-2 a Judg-5, A_3 ficou em segundo lugar e A_1 em terceiro.

Para entender se pequenas mudanças nos pesos poderiam afetar o *ranking* obtido, uma breve análise de sensibilidade foi realizada. Todos os pesos sofreram uma variação de 10% para mais ou para menos. Isto quer dizer que ao explicitar maior preferência em relação aos critérios relacionados com Tela (C_1 - C_4), o peso dado a este grupo de critérios que foi de w_{c_1} - $w_{c_4} = 0.6$ foi alterado e em cada variação o algoritmo foi novamente executado. Observou-se então que o *ranking* obtido, mesmo com a perturbação dos pesos, não sofreu alterações. Embora tenha sido percebido mudanças no CC_i , uma margem de 10% de variação nos pesos dos conjuntos de critérios, seja para mais ou para menos, não alterou a ordenação final obtida em cada julgamento.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

SATISFAÇÃO de usuários de *smartphones* está relacionada com diversos fatores, tais como: tela, terminologia, aprendizado e recursos do sistema. A escolha pelo

sistema operacional se configura como uma tomada de decisão multicritério, pois ela está relacionada a muitos fatores e estes são conflitantes entre si.

Esta pesquisa investigou a satisfação de usuários de *smartphones* com os sistemas operacionais *Android*, *iOS* e *Windows Phone*. Estes três sistemas operacionais foram escolhidos por serem os mais utilizados no mercado [1], [3], [13]. Um questionário, baseado no QUIS, foi aplicado e obteve-se 314 respostas válidas. Dos 23 critérios avaliados e com as 3 alternativas disponíveis, aplicou-se o método de tomada de decisão multicritério TOPSIS para ranquear as alternativas de acordo com as notas obtidas pelo questionário. As notas de cada alternativa foi a média obtida por cada sistema operacional em cada um dos critérios. Estes critérios estão relacionados aos fatores Tela, Terminologia, Aprendizado e Recursos do Sistema. Considerando que o decisor tenha preferência por um destes conjuntos de critérios, deu-se pesos maiores para cada um deles e executou o algoritmo. Em todas as execuções, a alternativa A_2 : *iOS* foi a melhor classificada. Teve troca de posições no *ranking* do segundo e terceiro lugar. Quando o fator Tela teve maior peso, *Android* ficou em segundo lugar e *Windows Phone* em terceiro. Para os outros três casos, ou seja, quando os fatores Terminologia, Aprendizado e Recursos do Sistema tiveram maior peso, *Windows Phone* ficou em segundo lugar e *Android* em terceiro.

Ao analisar as notas obtidas por cada sistema operacional em cada critério já era possível perceber o alto nível de satisfação com o sistema *iOS*, visto que as avaliações foram predominantemente superiores as demais. Considerando cada um dos quatro conjuntos de critérios, esta alternativa apresentou maior média que todas as demais. Logo, possivelmente ela seria melhor classificada pelo método multicritério. Entretanto, esta ordem pode mudar caso o usuário forneça pesos muito altos para os critérios que esta alternativa não obteve as melhores pontuações, como C_{10} e C_{22} , por exemplo. Outra perspectiva de análise é fazer o julgamento dos critérios de maneira individual ou combinando entre eles. Por exemplo, dar peso elevado para um ou mais critérios de preferência C_j e investigar a classificação das alternativas. Como o método calcula o valor da alternativa ponderada e normalizada é possível que haja alterações no *ranking* final.

Sabe-se da expressiva diferença de preços de *smartphones* com estes sistemas operacionais avaliados. Muitas vezes o usuário, como consumidor, adquire um aparelho além ou aquém das suas necessidades. A análise multicritério, tal como a empregada nesta pesquisa, pode auxiliar esse usuário a escolher entre as alternativas possíveis. Ele deve avaliar a importância dos critérios aos quais ele considera fundamental em seu dia-a-dia. Assim, baseado nas informações disponíveis, o método multicritério tende a auxiliá-lo na escolha do sistema operacionais mais viável, baseado naquelas preferências.

Por fim, sabe-se que as notas obtidas pelo questionário traduzem a avaliação de graduandos e graduados em Gestão, Computação e Engenharias. Estas avaliações po-

dem sofrer profundas alterações caso seja incluídos outros grupos na análise ou novos critérios, dependendo das preferências do usuário. Assim, este ou outro método multicritério que for utilizado pode retornar resultados interessantes. Acredita-se que este estudo possa ser facilmente replicado. Assim, ele permite a avaliação de outros sistemas, aplicativos e interfaces. Espera-se que este trabalho possa inspirar acadêmicos e pesquisadores interessados em avaliação de interfaces, estudos sobre *smartphones*, tomada de decisão multicritério ou a junção destes.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor declara que o presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES - Brasil. Os autores agradecem ao MINDS Lab UFMG pela discussão dos resultados e sugestões de melhoria. E agradecem aos revisores e editor deste periódico pelos importantes comentários que seguramente elevaram o nível desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Anatel, *Estatísticas de Celulares no Brasil*, 2017. [Online]. Available: <http://www.teleco.com.br/ncel.asp>.
- [2] J. H. Choi and H. J. Lee, "Facets of simplicity for the smartphone interface: A structural model," *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 70, pp. 129–142, 2012.
- [3] M. A. Alves, "Avaliação de Usabilidade de Interfaces de Smartphones: Um Estudo Comparativo entre os Sistemas Operacionais Android e iOS," in *XXVI Enangrad - Encontro Nacional de Cursos de Graduação em Administração*, Foz do Iguaçu: Enangrad, 2015, pp. 1–15.
- [4] V. M. França, N. d. A. Carneiro, B. C. Medeiros, M. F. Danjou, and M. V. Sousa Neto, "Fatores favoráveis à aceitação de aplicativos móveis: um estudo com Alunos de uma instituição pública de ensino," *Sistemas & Gestão*, vol. 11, pp. 120–132, 2016.
- [5] K. Moumane, A. Idri, and A. Abran, "Usability evaluation of mobile applications using ISO 9241 and ISO 25062 standards," *SpringerPlus*, vol. 5, no. 1, pp. 1–15, 2016.
- [6] P. M. Silva and G. A. Dias, "Teorias sobre Aceitação de Tecnologia: por que os usuários aceitam ou rejeitam as tecnologias de informação," *Brazilian Journal of Information Science*, vol. 1, no. 2, pp. 69–91, 2007.
- [7] A. G. Parada, M. R. S. Marques, and L. B. De Brisolará, "Automating mobile application development: UML-based code generation for Android and Windows Phone," *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, vol. 22, no. 2, pp. 31–50, 2015.
- [8] A. Hussain and M. Kutar, "Usability Evaluation of SatNav Application on Mobile Phone Using mGQM," *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, vol. 4, pp. 92–100, 2012.
- [9] C. Krone, "Validação de Heurísticas de Usabilidade para Celulares Touchscreen," Santa Catarina, 2013.
- [10] A. H. Kronbauer and C. A. S. Santos, "Avaliação da Influência de Aspectos Contextuais na Interação com Aplicativos para Smartphones," in *WebMedia '13: 19th Symposium on Multimedia and the Web*, Salvador, BA, 2013, p. 8.
- [11] A. Mardani, A. Jusoh, K. M. Nor, Z. Khalifah, N. Zakwan, and A. Valipour, "Multiple criteria decision-making techniques and their applications - a review of the literature from 2000 to 2014," *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*, vol. 28, no. 1, pp. 516–571, 2015.
- [12] G.-H. Tzeng and J.-J. Huang, *Multiple attribute decision making*, CRC press, Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981, pp. XI, 269.
- [13] C. Melissa, N. Govindaraj, R. Reith, and K. Nagamine, *Smartphone OS Market Share, 2016 Q3*, 2016. [Online]. Available: <http://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>.
- [14] J. P. Chin, V. A. Diehl, and K. L. Norman, "Development of an Instrument Measuring User Satisfaction of the Human-Computer Interface," in *CHI '88 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Portland, OR, 1988.
- [15] M. Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, M. Yazdani, and J. Ignatius, "A state-of-the-art survey of TOPSIS applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 17, pp. 13 051–13 069, 2012.
- [16] R. A. Krohling and T. T. Souza, "Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão," *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, no. 8, pp. 31–35, 2011.
- [17] H. S. Naeni and S. Mostowfi, "Using QUIS as a Measurement Tool for User Satisfaction Evaluation (Case Study: Vending Machine)," *International Journal of Information Science*, vol. 5, no. 1, pp. 14–23, 2015.
- [18] M. Dalmoro and K. M. Vieira, "Dilemas na construção de escalas Tipo Likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados?" *Revista Gestão Organizacional*, vol. 6, no. 3, pp. 161–174, 2013.
- [19] H. Freitas, M. Oliveira, A. Z. Saccol, and J. Moscarola, "O método de pesquisa survey", *Revista de Administração da USP - RAUSP*, Vol.35, No.3, p. 105-112., *Revista de Administração da USP - RAUSP*, vol. 35, no. 3, pp. 105–112, 2000.