



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

JÉSSICA ALVES JUSTO MENDES

EXPERIMENTO COM SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA AVALIAR A
PERFORMANCE DO MÉTODO FITRADEOFF

Recife

2020

JÉSSICA ALVES JUSTO MENDES

**EXPERIMENTO COM SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA AVALIAR A
PERFORMANCE DO MÉTODO FITRADEOFF**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Eduarda Asfora Frej.

Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M538e Mendes, Jéssica Alves Justo.
Experimento com simulação numérica para avaliar a performance do método FITradeoff / Jéssica Alves Justo Mendes. – 2020.
124 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Eduarda Asfora Frej.
Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências, Apêndices e Anexo.

1. Engenharia de produção. 2. Decisão multicritério. 3. Métodos multicritérios com informação parcial. 4. Método FITradeoff. 5. Simulações em problemas multicritério. I. Frej, Eduarda Asfora (Orientadora). II. Almeida, Adiel Teixeira de (Coorientador). III Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2020-48

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

JÉSSICA ALVES JUSTO MENDES

**“EXPERIMENTO COM SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA AVALIAR A
PERFORMANCE DO MÉTODO FITRADEOFF”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato Jéssica Alves Justo Mendes **APROVADO**.

Recife, 31 de Janeiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Eduarda Asfora Frej, PhD (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Máisa Mendonça Silva, PhD (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. João Carlos Soares de Mello, PhD (Examinador Externo)
Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por cuidar de minha vida nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus pais, José Augusto e Marly, pelos ensinamentos passados, pela força e amor transmitidos, e por apoiarem minhas decisões. Agradeço também à minha família pelo carinho, em especial ao meu primo Daniel, que sempre torce por mim, e me inspira a superar qualquer obstáculo.

Agradeço à minha orientadora, Eduarda Asfora Frej, e ao meu co-orientador, Adiel Teixeira de Almeida, pela orientação concedida para a elaboração desta pesquisa.

Agradeço aos meus amigos, que me deram o apoio necessário para finalizar este projeto.

Por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro que proporcionou à elaboração desta pesquisa.

RESUMO

O uso de informação parcial no processo decisório mostra-se, cada vez mais, uma abordagem útil e eficaz para tomada de decisão multicritério, uma vez que, através dela, é possível poupar tempo e esforço cognitivo dos tomadores de decisão. O método multicritério Flexible Interactive Tradeoff (FITradeoff) elicitava as preferências do decisor por meio de um processo interativo e flexível, com uso de informação parcial através de um processo de perguntas e respostas em que o decisor declara sua preferência entre consequências hipotéticas, avaliando *tradeoffs* entre critérios. As vantagens do FITradeoff frente a outros métodos aditivos foram evidenciadas em estudos de caso presentes na literatura; porém, até o momento, nenhum estudo avaliou fatores que influenciem o desempenho do FITradeoff em relação ao aumento no número de perguntas feitas ao decisor para encontrar uma recomendação. Neste contexto, o presente trabalho avalia, através de uma grande quantidade de cenários simulados, como o FITradeoff se comporta frente aos seguintes fatores: variação da forma da distribuição das constantes de escala, aumento no número de critérios e aumento no número de alternativas. As simulações realizadas demonstraram que o FITradeoff consegue, já na etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios, reduzir a até 8 o número de alternativas potencialmente ótimas do problema em 97% dos casos. Comprovou-se, ainda, que a forma da distribuição dos valores das constantes de escala é o fator que mais afeta o desempenho do FITradeoff, seguido pelo aumento do número de critérios. Foi possível, ainda, concluir também que o aumento no número de alternativas tem pouca influência no número de perguntas feitas ao decisor. Através dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi também comprovada a eficiência do método do ponto de vista de redução de número de perguntas quando comparado a outros procedimentos de elicitação, a exemplo do Tradeoff tradicional.

Palavras-chave: Decisão multicritério. Métodos multicritério com informação parcial. Método FITradeoff. Simulações em problemas multicritério.

ABSTRACT

The use of partial information in the decision-making process increasingly shows a useful and effective approach to multicriteria decision making, as it can save the time and cognitive effort of decision makers (DM). The multicriteria method Flexible and Interactive Tradeoff (FITradeoff) elicits the DM's preferences through an interactive and flexible process, using partial information through a question-and-answer process in which the decision maker declares his preference for hypothetical consequences, evaluating tradeoffs between criteria. The advantages of FITradeoff over other additive methods were evidenced in case studies presents in the literature; however, no studies have so far evaluated the factors that influence FITradeoff's performance in relation to the increase in the number of questions asked to the DM in order to find a recommendation. In this context, the present work evaluated, through a large number of simulated scenarios, the way in which FITradeoff behaves against the following factors: variation in the distribution of scale constants, increase in the number of criteria and increase in the number of alternatives. The simulations showed that, during the ranking phase, FITradeoff can reduce the number of potentially optimal alternatives (POA) to up to 8 POA in 97% of cases. It was also proved that the form of the distribution of the scale constants values is the factor that most affects the performance of FITradeoff, followed by the increase in the number of criteria. It was also possible to conclude that the increase in the number of alternatives has little influence on the number of questions asked to the DM. Through the results obtained in this research, the efficiency of the method was proven from the point of view of reducing the number of questions when compared to other elicitation procedures, such as the traditional Tradeoff.

Keywords: Multicriteria decision making. Multicriteria methods with partial information. FITradeoff method. Simulations in multicriteria problems.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Justificativa	10
1.2	Objetivos do Trabalho	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	Estrutura do Trabalho.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Fundamentação Teórica	13
2.1.1	Decisão Multicritério.....	13
2.1.2	Procedimento Tradeoff Tradicional	16
2.1.3	Método FITradeoff	18
2.2	Revisão da Literatura	22
2.2.1	Métodos Decisórios com Informação Parcial	22
2.2.2	Utilização de Simulação em Métodos de Apoio a Decisão Multicritério	27
2.3	Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho.....	30
3	METODOLOGIA	33
3.1	Questões de Pesquisa.....	33
3.2	Projeto do Experimento.....	35
3.2.1	Definição do número de critérios e alternativas a serem simulados	36
3.2.2	Definição das formas dos padrões de pesos a serem simulados	36
3.2.3	Definição dos cenários de simulação	37
3.3	Etapas do Processo de Simulação	40
4	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	46
4.1	QP1 - Com que percentual de casos o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação apenas com as informações obtidas na fase de ordenação das constantes de escala?	46
4.2	QP2 - Como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff?	50

4.3	QP3 - Qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor?	54
4.4	QP4 - Qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor?	57
4.5	QP5 - Através da análise de dois <i>benchmarks</i> , (N-1) e 3*(N-1), quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional?	59
4.6	Discussão dos Resultados.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5.1	Conclusões.....	66
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	67
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A - QUANTIDADE DE CASOS RESOLVIDOS PELO FITRADEOFF NA FASE DE ORDENAÇÃO	73
	APÊNDICE B – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PADRÕES DE PESOS.....	77
	APÊNDICE C – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÚMERO DE ALTERNATIVAS	93
	APÊNDICE D – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÚMERO DE CRITÉRIOS.....	103
	APÊNDICE E – COMPARAÇÃO ENTRE OS BENCHMARKS (N-1) E 3*(N-1)	114
	ANEXO A – FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO GRÁFICA.....	123

1 INTRODUÇÃO

No cotidiano do ser humano, a tomada de decisões é algo constante. Seja em escolhas simples, como qual rota tomar ao sair de sua residência, ou complexas, como quais funcionários serão demitidos em um período de crise de uma empresa. Assim, diante da importância do processo decisório, diversos métodos de auxílio à tomada de decisão foram criados, com o objetivo de melhorar a qualidade das decisões e tornar o processo de tomada de decisão mais racional, explícito e eficiente (ZAVADSKAS; TURSKIS, 2011).

No contexto de métodos multicritério de apoio à decisão (MCDA), caracterizado por decisores que possuem mais de um objetivo, normalmente conflitantes entre si, destaca-se o uso dos métodos de decisão multicritério, os quais apresentam forte presença do decisor através do seu julgamento, consideram a estrutura de preferência do decisor, e buscam selecionar as melhores alternativas(s), analisando-as, simultaneamente, em relação a todos os critérios (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA et al., 2015).

Em MCDA, ressaltam-se, devido ao seu amplo uso, os modelos aditivos. Estes modelos apresentam racionalidade compensatória, ou seja, há *tradeoff* entre os critérios. A função valor aditiva é utilizada, visando reduzir o esforço cognitivo do decisor, que realiza uma elicitación indireta, através de perguntas par a par (DE ALMEIDA, 2013; KADZINSKI et al., 2017; SPLIET, TERVONEN, 2014).

Dentre os modelos aditivos, grande parte utiliza informações completas para elicitar as constantes de escala, exigindo do decisor uma estrutura de preferências bem definida e estável, o que torna o processo cognitivamente exigente, já que demandam muita precisão, tempo e esforço do decisor. Adicionalmente, nem sempre o decisor é capaz de explicitar as informações necessárias para a elicitación das constantes de escala, conforme exigido pela maioria dos métodos (WEBER, 1987; BELTON, STEWART, 2002; LARSSON et al., 2015). Isto, segundo Weber (1987), explica a discrepância entre o número de modelos teóricos utilizados na tomada de decisão em relação a suas aplicações reais.

O alto esforço cognitivo durante a elicitación das constantes de escala conduz a altas taxas de inconsistências (WEBER, BORCHERDING, 1993), motivando, assim, o surgimento de métodos que utilizam, ao invés da informação completa, informação parcial.

Weber (1987) caracterizou informação parcial, dentro do contexto de tomada de decisão, como situações onde o decisor não apresenta uma estrutura de preferências bem

definida, sendo incapaz de especificar suas preferências com o detalhamento exigido por métodos tradicionais, seja por não conseguir fornecer estimações exatas de distribuições de probabilidades ou por uma avaliação inexata das consequências.

Visando suprir as principais defasagens dos métodos que demandam elicitación com informação completa, Almeida et al. (2016) propuseram o método FITradeoff (Flexible Interactive Tradeoff), caracterizado como método aditivo, que demanda informação parcial a respeito das preferências do decisor para a elicitación das constantes de escala. Este método trouxe inovações ao apresentar uma forte estrutura axiomática, advinda do procedimento de Tradeoff, de Keeney & Raiffa (1976), mas, ao mesmo tempo, reduzir o esforço cognitivo do decisor, pois, durante a comparação de consequências, ao invés de procurar estabelecer pontos exatos de indiferença, o que é cognitivamente difícil para o decisor, busca-se estabelecer relações de preferência estrita.

1.1 Justificativa

Dentre os diversos métodos multicritério que utilizam informação parcial, o método FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016) diferencia-se por conseguir extrair as constantes de escala dos critérios através de um processo de elicitación que exige menos esforço cognitivo do decisor, minimizando o risco de respostas inconsistentes (DE GUSMÃO; MEDEIROS, 2016).

O método FITradeoff foi aplicado com sucesso em diversas áreas do conhecimento, destacando-se: seleção de fornecedores (FREJ *et al.*, 2017), neurociência (ROSELLI *et al.*, 2019), assistência médica (SHUKLA, 2017; DELL'OVO *et al.*, 2017), energia (DE MACEDO *et al.*, 2018; KANG *et al.*, 2018), gerenciamento de processos (LIMA *et al.*, 2017) e indústria de construção (PALHA, 2019). Apesar das aplicações do FITradeoff terem sido bem-sucedidas, não haviam sido feitas simulações com uma grande quantidade de dados para analisar a performance do método, no que tange à redução de perguntas feitas durante a fase de elicitación. Deste modo, o presente trabalho será inovador ao investigar a performance do FITradeoff através de um estudo simulado.

O presente trabalho irá contribuir com uma análise de: como a variação no número de critérios, número de alternativas e distribuição dos padrões de pesos influenciam no número de perguntas que o decisor irá responder até que se chegue a uma recomendação. Assim, a avaliação desses fatores permitirá confirmar as principais vantagens teóricas do método

FITradeoff, em relação à redução da dificuldade cognitiva do processo de decisão, bem como apresentar uma efetiva contribuição para a lacuna encontrada na literatura.

1.2 Objetivos do Trabalho

Segue nesta seção, o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é analisar o desempenho do FITradeoff em relação ao número de perguntas a serem respondidas, na problemática de escolha, utilizando-se de um processo de simulação onde varia-se o número de: alternativas, critérios e distribuições de pesos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar o percentual de casos em que o FITradeoff leva a uma recomendação apenas com as informações obtidas na fase de ordenação das constantes de escala;
- Analisar como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff;
- Investigar qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor;
- Investigar qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor;
- Comparar dois *benchmarks* para então analisar quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 4 capítulos a seguir:

O Capítulo 1, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho, os objetivos do estudo e o tipo de pesquisa científica na qual este estudo se insere.

O Capítulo 2, Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica, fundamenta os temas que são relevantes para o entendimento e embasamento deste trabalho.

O Capítulo 3, Metodologia, apresenta as questões de pesquisa que basearam o experimento, explicita o projeto do experimento realizado e descreve as etapas realizadas neste estudo simulado.

O Capítulo 4, Resultados do Experimento para Avaliar o Método FITradeoff mostra, através de gráficos, os resultados mais relevantes a esta pesquisa, de acordo com as questões de pesquisas descritas no Capítulo 3.

O Capítulo 5, Considerações Finais, apresenta as conclusões encontradas, a limitação do estudo e aponta o que ainda pode ser estudado em relação a esta pesquisa.

Apresenta-se então o Referencial Bibliográfico deste trabalho.

Os Apêndices 1 a 5 apresentam os resultados exaustivos de todos os cenários de simulação analisados.

Por fim, o Anexo A apresenta as ferramentas de visualização gráfica disponibilizadas pelo software do método FITradeoff.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e revisão bibliográfica da pesquisa.

2.1 Fundamentação Teórica

A base conceitual utilizada neste trabalho é apresentada a seguir, e consiste nos temas Decisão Multicritério e Método FITradeoff.

2.1.1 Decisão Multicritério

A tomada de decisão está presente tanto nos aspectos pessoais, quanto profissionais de qualquer ser humano, porém, quando se trata de decisões gerenciais, as consequências negativas de uma decisão afetam a sociedade, sendo preciso tomar o cuidado de minimizar estas consequências negativas. Assim, segundo Belton & Stewart (2002), os métodos multicritério de apoio à decisão (MCDA) foram criados, visando facilitar o aprendizado e a compreensão dos decisores sobre o problema enfrentado, suas prioridades, valores e objetivos, guiando-os de forma a identificar um curso de ação preferencial, minimizando o potencial de arrependimento após a decisão, satisfazendo todos os critérios (ou fatores) exigidos.

Conhecer a problemática de seu problema de decisão é relevante para o processo de estruturação do mesmo. Uma problemática, segundo De Almeida (2013), caracteriza-se pelo modo como o decisor deseja que a posição comparativa das alternativas de um determinado conjunto seja apresentada. As problemáticas utilizadas em um problema de decisão variam dependendo do que se procura obter. Roy (1996) classificou estas problemáticas do seguinte modo:

- Problemática de escolha ($P.\alpha$): essa problemática é a mais tradicional, procura-se identificar as melhores ações, resultando em uma única recomendação;
- Problemática de classificação ($P.\beta$): busca alocar as ações em categorias definidas segundo a consequência destas ações, sendo que cada categoria deve possuir uma definição intrínseca, ou seja, uma definição que não se refira às outras categorias;
- Problemática de ordenação ($P.\gamma$): estabelece um ranking das alternativas de forma completa ou parcial, ou seja, ordena as ações conforme as preferências do decisor;

- Problemática de descrição (P.δ): essa problemática procura apoiar o decisor, descrevendo as ações e suas consequências.

De Almeida (2013) aponta uma quinta problemática, além das quatro problemáticas descritas por Roy (1996). A Problemática de portfólio seleciona, dentre um conjunto de alternativas, o subconjunto que melhor atenda os objetivos e restrições do problema (DE ALMEIDA, 2013)

Os métodos multicritério de apoio à decisão podem ser classificados de diversas formas, sendo relevantes para este estudo as seguintes classificações: segundo seu método (ROY, 1996), segundo sua racionalidade (DE ALMEIDA, 2013).

A classificação dos métodos multicritério de apoio à decisão foi apresentada por Roy (1996) da seguinte forma:

- Métodos de critério único de síntese: Estes métodos fazem a agregação dos critérios em um critério único, chamado critério de síntese. É estabelecida uma pontuação para cada alternativa, segundo a avaliação do seu desempenho em cada critério. Cita-se, como exemplos de métodos desta categoria: MAUT (KEENEY, RAIFFA, 1976), SMARTS (EDWARDS, BARRON, 1994), AHP (SAATY, 1980) e MACBETH (BANA E COSTA, VASNICK, 1994).

- Métodos de sobreclassificação: Esta classe engloba os métodos que procuram estabelecer uma relação de sobreclassificação (*outranking*) entre as alternativas, ou seja, é realizada uma comparação par a par entre as alternativas. Os exemplos mais proeminentes desta categoria são os métodos da família ELECTRE e família PROMETHEE.

- Métodos interativos: são métodos onde há interações entre o analista e o decisor, desde o processo de construção do modelo até a elicitación de preferências do decisor. O método FITradeoff, desenvolvido por De Almeida et al. (2016) e foco deste estudo, é classificado como método interativo.

A classificação segundo a racionalidade dos métodos, apresentada por De Almeida (2013), analisa se o método é compensatório ou não compensatório, ou seja, se há *tradeoff* entre os critérios, com um critério que apresenta mau desempenho sendo compensado por um bom desempenho em outro critério, sua racionalidade é dita compensatória. A racionalidade compensatória envolve modelos de agregação aditiva. Caso contrário, a racionalidade será

classificada como não compensatória. Neste estudo, assume-se que a racionalidade será, sempre, compensatória.

Modelos de agregação aditiva tem como base a Teoria do Valor Multiatributo (MAVT), amplamente utilizada na resolução de problemas de tomada de decisão multicritério devido a sua forte base axiomática, com as constantes de escalas sendo obtidas a partir da equação (2.1) (WEBER, BORCHERDING, 1993; ZHENG, LIENERT, 2017; DE ALMEIDA *et al.*, 2016):

$$v(x) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_i) \quad (2.1)$$

onde $v(x)$ é o valor da alternativa x para o decisor, k_i é a constante de escala do critério i e $v_i(x_i)$ é o valor da consequência para o critério i , sendo que, dependendo da estrutura de preferências do decisor, $v_i(x_i)$ pode assumir uma função linear ou não linear.

Caso o problema apresente unidades diferentes para os valores dos critérios, faz-se necessário realizar a normalização destes valores, redefinindo-os em uma escala de 0 a 1, conforme demonstrado pela equação (2.2):

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1, \text{ com } k_i \geq 0 \quad (2.2)$$

Definir os valores das constantes de escala, consiste em uma questão complexa, já que, em modelos aditivos, as constantes de escala não representam apenas o grau de importância dos critérios, pois, o fator de escala relacionado aos valores das consequências também deve ser considerado. Devido a estes fatores, considera-se a determinação das constantes de escala como o cerne de qualquer processo decisório (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE MACEDO *et al.*, 2018; DELL'OVO *et al.*, 2017). Nesta pesquisa, os termos “constante de escala” e “peso” são intercambiáveis. Ressalta-se então que cada vez que o termo “peso” aparecer, seu real significado será “constante de escala”, pois fatores de escala serão considerados.

Existem diversos métodos para obter as constantes de escala, sendo o procedimento Tradeoff (KEENEY, RAIFFA, 1976) aquele que apresenta a base teórica mais forte, além de permitir a inclusão de uma função valor intracritério não linear, diferenciando-se da maioria dos demais procedimentos (WEBER, BORCHERDING, 1993; DE ALMEIDA *et al.*, 2016). A realização da avaliação intracritério ocorre através da análise de cada critério e

identificação do tipo de função mais adequada ao comportamento do mesmo, sendo que a função valor intracritério que é obtida pode ser linear ou não-linear (DE ALMEIDA, 2013).

Weber e Borcharding (1993) explicam o procedimento de Tradeoff da seguinte forma: duas alternativas descritas em dois atributos distintos são comparadas, sendo que para os demais atributos, ambas as alternativas possuem valores idênticos. Uma das alternativas comparadas apresenta o melhor desempenho no primeiro atributo, e o pior desempenho no segundo atributo, a outra apresenta o pior desempenho no primeiro atributo e o melhor no segundo atributo. Ao realizar sua escolha, o decisor avalia qual atributo é mais importante.

Apesar das vantagens do procedimento de Tradeoff (KEENEY, RAIFFA, 1976), atualmente, o mesmo não é muito utilizado, devido, principalmente, à dificuldade do decisor em apontar, com exatidão, seu ponto de indiferença, gerando, assim, altas taxas de inconsistência no método (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; BORCHERDING *et al.*, 1991).

O método FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), objeto de análise deste estudo, utiliza a forte base axiomática do Tradeoff, porém, modificou-o de tal modo que houve uma diminuição na dificuldade cognitiva do decisor, que, ao invés de apontar pontos de indiferença, aponta sua preferência estrita.

2.1.2 Procedimento Tradeoff Tradicional

Conforme citado, em métodos de agregação aditivos, para que a função valor global de cada alternativa seja obtida, é necessário determinar as constantes de escala de cada critério de modo cuidadoso, pois as mesmas são de grande importância para que se encontre uma solução ótima. Isto pode ser feito de uma forma estruturada ou não estruturada. Quando o procedimento não é estruturado, o decisor explicita informações em qualquer tempo do processo e de qualquer modo, ou é assumido que as informações relevantes já são conhecidas. De uma forma estruturada, a elicitación das preferências é realizada com base em mecanismos de suporte organizados, os quais guiam o processo em que o decisor declara suas preferências, sendo os exemplos mais conhecidos, os do procedimento de SWING ou de Tradeoff. (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

No procedimento do Tradeoff tradicional, considerado o mais robusto axiomáticamente, a comparação dos critérios (k_j) realizada depende de pontos exatos de indiferença. Por exemplo, pede-se ao decisor que, entre duas consequências A e B, o mesmo defina valores entre as quais ele é indiferente, o que quer dizer que o decisor fica tão satisfeito em escolher a

consequência A como ficaria se escolhesse a consequência B (DE ALMEIDA-FILHO *et al.*, 2017).

De Almeida (2013) apresenta o procedimento do Tradeoff tradicional através de seis etapas, descritas a seguir. Neste procedimento, considera-se b_j como a melhor performance para determinada consequência, w_j como a consequência de pior performance e x_j como consequências de performance intermediária.

Na Primeira Etapa, denominada Avaliação Intracritério, as funções valor $v_j(x_j)$ de cada critério j são obtidas.

Na Segunda Etapa ocorre a ordenação dos critérios, onde as consequências são ordenadas de modo decrescente (da melhor para a pior).

Realizada a ordenação dos critérios, dá-se início à Terceira Etapa, onde o espaço das consequências é mais explorado, pois outras relações de preferência P são obtidas, de modo que o decisor consiga avaliar melhor o espaço de consequências.

Na Quarta Etapa, ocorre a obtenção da relação entre as constantes de escala através de relações de indiferenças I apresentadas pelo decisor durante comparações entre as consequências analisadas.

Na Quinta Etapa, as demais constantes de escala são obtidas para os demais critérios, até que se encontrem o número de relações necessárias para determinar os valores de cada k_j .

Por fim, a Sexta Etapa finaliza o procedimento através de testes de consistência que buscam averiguar se as comparações realizadas são consistentes com os valores calculados com a função valor $v(x)$ para os valores de k_j obtidos.

Comparando os dois procedimentos estruturados mais conhecidos, o swing e o Tradeoff, percebe-se que o primeiro pode resultar em erro de modelagem, pois assume-se que as preferências dos decisores, na fase de avaliação intracritério, não assumirá uma forma não linear, ou seja, trabalha-se apenas com funções lineares (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Já o procedimento de Tradeoff pode levar ao erro de elicitación, pois, durante a Quarta Etapa do procedimento do Tradeoff tradicional (e, em consequência, a quinta etapa), na qual as constantes de escala são elicitadas, há um alto grau de inconsistência (BORCHERDING *et al.*, 1991), que pode ser explicado por forçar o decisor a identificar um ponto exato de indiferença, elevando a dificuldade das perguntas feitas ao decisor e tornando o processo cognitivamente difícil (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Estas críticas motivaram a criação do método FITradeoff, descrito no tópico a seguir.

2.1.3 Método FITradeoff

Conforme descrito neste capítulo, modelos aditivos contextualizados na Teoria do Valor Multiatributo (MAVT), apresentam como principal preocupação a eliciação das constantes de escala dos critérios, processo que se torna difícil devido a necessidade de se avaliar, além da importância relativa dos critérios, seu fator de escala. Assim, visando utilizar a comprovada estrutura axiomática do Tradeoff para a eliciação das constantes de escala, mitigando suas inconsistências, o método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*) foi criado (DELL'OVO *et al.*, 2018; ROSELLI *et al.*, 2019; DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

O método FITradeoff apresenta um processo de eliciação interativo, ou seja, a cada interação, o decisor pode fornecer novas informações, com os novos resultados sendo computados segundo as informações adicionais. Outra característica do FITradeoff é seu processo flexível, que permite que o decisor tenha mais liberdade durante a eliciação das preferências, não precisando, obrigatoriamente, seguir um processo fixo. As informações parciais são obtidas com base na ordenação e limites dos valores das constantes de escala, para serem então sintetizadas através de problemas de programação linear (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

Neste contexto, o processo de eliciação de preferências do FITradeoff seleciona, com base nas informações parciais obtidas junto ao decisor, um subconjunto de alternativas potencialmente ótimas (POA) – uma alternativa é potencialmente ótima se seu valor global é maior do que o de todas as demais alternativas para ao menos um vetor de pesos dentro do espaço de pesos -, permitindo ao decisor uma grande flexibilidade, já que o mesmo pode interromper o processo de eliciação quando achar adequado. A comparação das consequências é realizada segundo as declarações de relações de preferência estrita indicadas pelo decisor. A não exigência de declarações de relações de indiferença facilita o processo cognitivo para o decisor. (ROSELLI *et al.*, 2019; DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

Para exemplificar o método FITradeoff, considere a seguinte situação: em um problema de decisão multicritério qualquer, cuja problemática seja a de escolha, quatro critérios hipotéticos são analisados. Primeiramente, realiza-se a ordenação das constantes de escala segundo o procedimento Tradeoff tradicional. Assume-se que o decisor ordenou as constantes de escala de modo que: $k_1 > k_2 > k_3 > k_4$. Percebe-se que a constante de escala do critério 1 (k_1) é maior que do critério 2 (k_2). Segue-se então para a ordenação de consequências, onde o

decisor deverá declarar suas relações de preferência estrita, observando os valores de x_1 em relação ao valor de indiferença (x_1^i), conforme exemplificado pela figura a seguir (Figura 2.1).

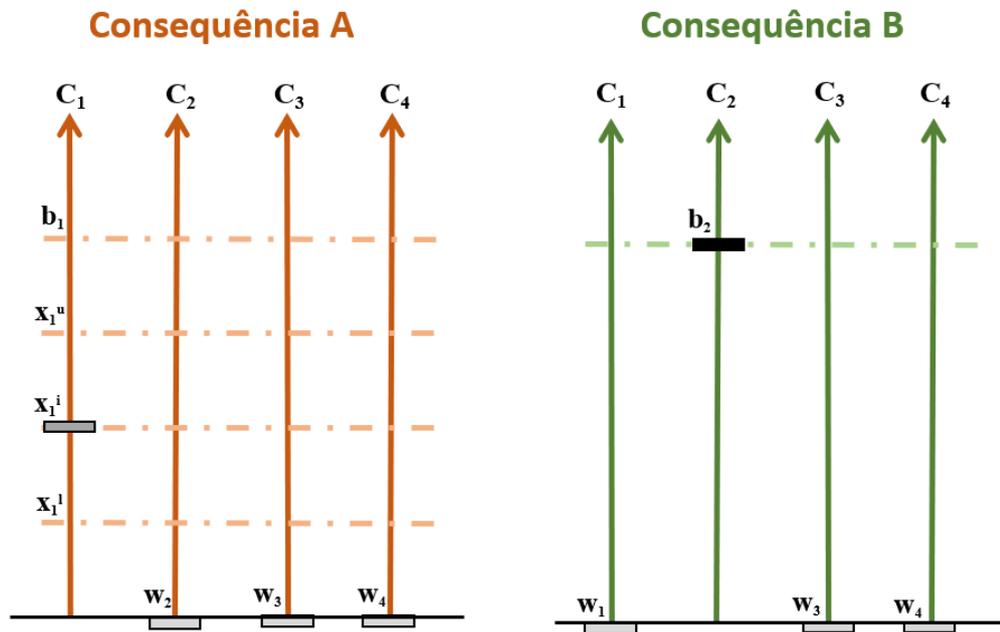


Figura 2.1 – Comparação das Consequências no método FITradeoff (Adaptado de De Almeida et al., 2016)

Deste modo, a consequência B tem o pior desempenho para os critérios 1, 3 e 4 e o melhor desempenho para o critério 2, enquanto a consequência A tem o pior desempenho para os critérios 2, 3 e 4 e um desempenho intermediário para o critério 1, ou seja:

$$v(A) = k_1 v_1(x_1^i) \quad (2.3)$$

$$v(B) = k_2 \quad (2.4)$$

Considerando o ponto x_1^i como sendo o ponto de indiferença entre as consequências A e B, o decisor irá declarar a consequência A como sendo preferível à consequência B se $x_1 = x_1^u$, ou seja, o valor da consequência A será maior do que o valor da consequência B, o que leva a equação 5. Caso a consequência B seja preferível à consequência A, x_1 será igual a x_1^l , o que resulta na equação 2.6.

$$k_1 v_1(x_1^u) > k_2 \quad (2.5)$$

$$k_1 v_1(x_1^l) < k_2 \tag{2.6}$$

As inequações são então utilizadas para a construção do espaço das constantes de escala (φ_n)

$$(\varphi_n) = \left\{ \begin{array}{l} (k_1, k_2, k_3, \dots, k_N) \left| \sum_{i=1}^N k_i = 1; k_i \geq 0 \right. \\ k_1 v_1(x_1^l) < k_2 < k_1 v_1(x_1^u); \dots; \\ k_i v_1(x_1^l) < k_{i+1} < k_i v_1(x_1^u); \dots; \\ k_{N-1} v_1(x_{N-1}^l) < k_N < k_{N-1} v_1(x_{N-1}^u); \dots; \end{array} \right. \tag{2.7}$$

Os valores que as constantes de escala dos critérios podem assumir vão sendo limitados a partir das restrições formadas pelas preferências do decisor em relação aos pares de consequências analisadas. Um software é então utilizado para rodar o modelo de programação linear (LPP) proposto por de Almeida et al. (2016), verificando, a cada iteração, quais alternativas ainda são potencialmente ótimas, com o processo sendo finalizado quando restar apenas um elemento no subconjunto ou quando for desejo do decisor.

O fluxograma a seguir (Figura 2.2) sintetiza o processo de elicitação do FITradeoff.

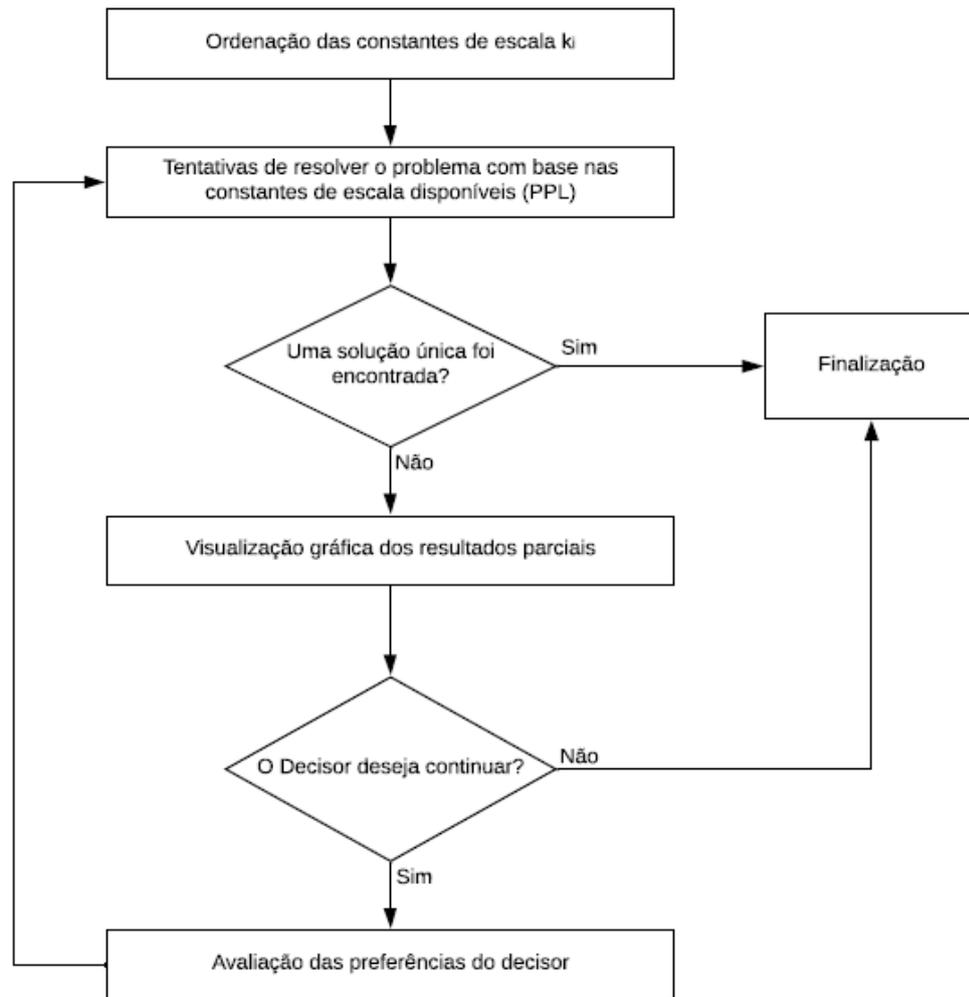


Figura 2.2 – Síntese do Processo de Elicitação do método FITradeoff (Adaptado de Dell’Ovo et al. , 2018)

No procedimento de Tradeoff tradicional (KEENEY, RAIFFA, 1976), utiliza-se como *benchmark* para análise do número mínimo de questões a serem respondidas pelo decisor, o *benchmark* de $(N-1)$ perguntas, que corresponde às declarações necessárias para encontrar pontos exatos de indiferença, dado um número N de critérios (DE ALMEIDA-FILHO, *et al.*, 2017).

Segundo De Almeida-Filho et al. (2017), a parte do procedimento de elicitação das constantes de escala do Tradeoff tradicional costuma ser questionada na literatura devido seu alto grau de complexidade, o que dificulta o processo para o decisor. Deste modo, De Almeida-Filho et al. (2017) defendem o uso do *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas como sendo mais viável para o FITradeoff, pois assim pode-se considerar a calibração do procedimento, ou seja, $2*(N-1)$ de perguntas são feitas para a definição de pontos de referência para o

decisor, o que leva o decisor a ter menos dificuldade de definir os pontos de indiferença (N-1), tornando o processo mais simples (DE ALMEIDA-FILHO *et al.*, 2017).

2.2 Revisão da Literatura

A revisão da bibliografia foi feita através da análise dos seguintes temas: métodos decisórios com informação parcial e estudos de simulação em decisão multicritério.

2.2.1 Métodos Decisórios com Informação Parcial

Muitos dos processos de decisão do mundo real envolvem mais de um critério, bem como situações que apresentam informações incompletas ou parciais, onde o decisor pode não ser capaz de fornecer as informações completas, seja por falta de tempo, por incapacidade de responder especificamente às questões de compensação hipotética, ou pelo fato de que não há um único "decisor", e as várias partes envolvidas discordam sobre os valores das constantes de escala (MÁRMOL *et al.*, 2002; KIRKWOOD & SARIN, 1985).

Neste contexto, percebe-se que os métodos tradicionais, onde é comum o uso de informação completa, exigem muita informação do decisor, o que é o caso, por exemplo do Método Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), o qual, apesar de ser muito difundido na literatura, apresenta dentre suas muitas desvantagens, um processo onde o decisor não tem a possibilidade de não responder determinadas questões, o que torna o processo mais trabalhoso e eleva o número de inconsistência durante a elicitación das preferências (BELTON, STEWART, 2002; BORCHERDING *et al.*, 1991). Outras desvantagens deste método incluem: a suposição de uma escala de razão de preferência, que implica a existência de um zero natural; interpretação numérica da escala semântica, cuja visão geral, parece ser que o ponto extremo da escala definida semanticamente como "preferência absoluta" é mais consistente quando se usa uma razão numérica de 1: 3 ou 1: 5, ao invés da 1: 9 usada pelo AHP; o fato do AHP tratar as respostas como julgamentos de razão de preferências, o que não é consistente com a abordagem da função valor; a interpretação dos pesos dos critérios, restrita ao grau de importância, sem considerar a variação (*range*) de valores de consequências das alternativas; e a possível reversão de ordem (*rank reverse*), onde a introdução de uma nova alternativa que não altera a faixa de resultados em nenhum critério pode levar a uma alteração no *ranking* das outras alternativas.

Visando evitar processos longos, que exigem muita informação do decisor, surgiram métodos que utilizam informações parciais ou incompletas (WEBER, 1987). Segundo Weber (1987), informações incompletas podem ser vistas como um instrumento para mostrar a atual forma de estrutura de preferências que está permanentemente mudando através do aprendizado e do pensamento.

O número de modelos teóricos utilizados na tomada de decisão é maior que o número de aplicações reais, o que faz sentido quando a maioria dos modelos teóricos usa informações completas, enquanto a maioria dos problemas reais envolve informações incompletas, caracterizadas por situações em que o decisor não tem estrutura de preferência, ou as distribuições de probabilidades não são completamente conhecidas ou há uma avaliação inexata das consequências (Weber, 1987)

Athanassopoulos e Podinovski (1997) exemplificaram situações reais em que há a necessidade de se utilizar modelos de decisão com informações incompletas, como aplicações de análise de decisão para problemas ambientais, onde deve-se encontrar uma solução que minimize a poluição geral do ar e da água.

Portanto, a fim de avançar na pesquisa sobre métodos que usam informações incompletas, Weber (1987) identificou três grandes problemas: primeiro, a necessidade de um modelo geral (framework) para decisões com informações incompletas; segundo, a necessidade de métodos para ajudar um Mestre a encontrar uma solução (ótima) (aspecto prescritivo); e terceiro, a necessidade de métodos projetados para problemas descritivos recém-definidos. É a esperança de Weber que a tomada de decisão com informações incompletas provará sua força por meio de aplicações industriais bem-sucedidas (WEBER, 1987).

A literatura apresenta uma grande variedade de métodos que consideram informação parcial. Devido à relevância para o estudo, focou-se nos que utilizam modelos aditivos em um contexto de MAVT.

Desenvolvido por Weber (1985), o método HOPIE (Holistic Orthogonal Parameter Estimation) apresenta ao decisor um conjunto de alternativas hipotéticas, dentre as quais ele pode fazer diversas comparações par a par, podendo impor mais restrições à função utilidade, através da atribuição de intervalos de valor às alternativas.

O método PAIRS (Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements), desenvolvido por Salo & Hamalainen (1992), processa declarações imprecisas de importância

relativa em relações de dominância e fornece suporte para manter a consistência do modelo de preferência, através do cálculo dos limites de consistência, que transmitem como as primeiras declarações de preferência restringem o conjunto de estimativas de proporção viáveis para cada nova instrução. Este método apresenta um processo de elicitación não estruturado, em um processo iterativo e fixo, com as informações parciais sendo obtidas através de limites dos valores das constantes de escala, sintetizadas através de programação linear. Assim, o método PAIRS suporta a consistência do modelo de preferência através dos chamados limites de consistência que são apresentados ao decisor antes da elicitación de cada nova declaração de preferência.

Inicialmente proposto por Barron (1992), o método ROC weights (Rank Order Centroid weights) foi formalmente descrito por Barron e Barrett (1996), com o objetivo de reduzir o erro máximo de cada peso dos critérios analisados, com o uso de informação parcial e ordenação dos critérios segundo sua importância relativa.

A criação do método SMARTER (EDWARDS, BARRON, 1994) se deu, principalmente, por três motivos: corrigir um erro apresentado pelo método SMART (EDWARDS, 1977 apud. EDWARDS, BARRON, 1994), a crença dos autores de que a facilidade de aplicação apresentada por uma ferramenta de auxílio à decisão aumenta as chances de que o decisor utilize esta ferramenta, e a preocupação de conciliar erros de modelagem com erros de elicitación, considerado pelos autores como a chave para uma boa escolha de um método. O SMARTER obtém informações ordinais sobre a importância relativa através de uma ponderação SWING, que são então convertidas em pesos numéricos. A elicitación é feita de modo estruturado, utilizando o procedimento SWING, com um processo único e fixo, sendo as informações obtidas através da ordenação dos pesos, e sintetizadas usando o ROC, de Barron e Barret (1992).

O método VIP (Variable Independent Parameters) Analysis, desenvolvido por Dias & Clímaco (2000) possibilita o cálculo do intervalo dos valores globais de cada alternativa, juntamente a uma matriz de confrontação extrema, na qual as alternativas são comparadas par a par, podendo ser descritas como dominadas ou "quasi-dominadas". Adicionalmente, encontra-se o valor máximo regret associado à escolha de cada alternativa. Este método é recomendado para as ocasiões onde o decisor não se sente à vontade em fornecer valores exatos para os pesos, o que pode resultar em informações imprecisas sobre os critérios, que serão então, tratadas através de um conjunto de restrições às quais os valores dos coeficientes

de escala devem obedecer (DIAS, CLÍMACO, 2000). A elicitação das preferências do decisor ocorre de forma não estruturada, em um processo interativo e flexível, no qual as informações são fornecidas pela ordenação dos pesos, limites dos valores dos pesos e inequações arbitrárias. Em sequência, essas informações são sintetizadas por problemas de programação linear. O software VIP Analysis baseia-se no método descrito, tendo como objetivo fornecer apoio para que, segundo uma função aditiva, a avaliação do conjunto de alternativas possa ser realizada, sendo a mais preferida, a escolhida. O software trabalha com uma redução progressiva do número de alternativas, recebendo as informações na forma de limites, equações e inequações lineares, que atuam como restrições em problemas de programação linear (DIAS, CLÍMACO, 2005).

O método PRIME (Preference Ratios in Multiattribute Evaluation), de autoria de Salo & Hamalainen (2001), permite que o decisor forneça declarações de preferência através de comparações holísticas entre alternativas, força ordinal de julgamentos de preferência ou proporções de diferenças de valor, com um processo de elicitação estruturado que visa o equilíbrio entre a solidez teórica do procedimento Tradeoff e a funcionalidade dos julgamentos através de razão. Suas semelhanças ao método PAIRS (antecessor do PRIME) consistem em: fornecimento de informação acerca das relações de dominância; preservação da consistência do modelo, e adequação a problemas de decisão em grupo. A inovação deste método frente a outros métodos aditivos é explicitada por: comparações feitas através de razões explicitamente ligadas aos valores das alternativas nos atributos, o que evita o problema relacionado à noção de pesos apenas como relativa importância do critério; capacidade de lidar com o julgamento de preferências de uma forma holística, na qual as consequências são comparadas com relação aos atributos em qualquer nível hierárquico da árvore de valores; e, por fim, as recomendações de decisão são complementadas por informações sobre uma possível perda de valor associada a essas recomendações (SALO & HAMALAINEN, 2001).

Desenvolvido por Salo & Punka (2005), o método RICH (Rank Inclusion In Criteria Hierarchies) permite que o decisor lide com informações incompletas, especificando o subconjunto de critérios que contém o critério mais importante, sendo as recomendações de decisão obtidas por meio de relações de dominância e regras de decisão. A elicitação é apresentada numa forma estruturada, em um processo único e fixo, no qual a informação vem dos limites dos valores de pesos e é sintetizada através de programação linear.

Mustajoki et al. (2005) trouxeram uma inovação ao método SMART / SWING, permitindo a incorporação de julgamentos imprecisos de preferências de intervalo ao método, criando, assim, o método Interval SMART / SWING, que apresenta um processo único e fixo, com a elicitación das preferências realizada de forma estruturada. Neste método, não é necessário que o decisor especifique um número exato para a comparação entre um atributo qualquer com a referência de atributo, pois o decisor é livre para definir um intervalo de comparação. Outra flexibilização trazida por este método foi permitir que o decisor escolha como atributo de referência um atributo que não é, necessariamente, o atributo mais ou menos importante.

Partindo do princípio que as respostas de decisor em um problema multicritério podem resultar na determinação de valores de parâmetros imprecisos, White III & Holloway (2008) desenvolveram uma abordagem que visa guiar o facilitador na seleção das perguntas a serem feitas, bem como determinar o momento de se encerrar o processo de pergunta-resposta. Esta abordagem utiliza um processo de elicitación não estruturado, modelado segundo o processo de decisão de Markov, garantindo condições para a existência de uma política de pergunta-resposta para identificar uma alternativa mais preferida em um número finito de perguntas.

O método MACBETH foi proposto por Bana e Costa & Vasnick (1994), e na sua versão mais recente, admite o uso de informação parcial, já que permite que o decisor hesite ao escolher entre duas ou mais categorias consecutivas (BANA E COSTA *et al.*, 2012). O método MACBETH utiliza de uma escala semântica, já que os autores consideram que o esforço cognitivo do decisor, ao realizar julgamentos qualitativos, é menor do que o esforço de se encontrar valores exatos de números que representem a intensidade de suas preferências. Assim, o método usa de sete categorias qualitativas que buscam encontrar a preferência do decisor, que deve declarar a diferença de atratividade entre as alternativas, através de uma comparação par a par. A partir do método, o software M-MACBETH foi desenvolvido, nele, a cada novo julgamento que o decisor realiza, são feitos testes de consistência para que se possa garantir a compatibilidade com informação cardinal adquirida (BANA E COSTA *et al.*, 2012).

O uso integrado de dois métodos multicritério de informação parcial foi realizado pelos pesquisadores Chaves et al. (2010), que utilizaram elementos do método MACBETH (BANA E COSTA, VASNICK, 1994) e do VIP Analysis (DIAS, CLÍMACO, 2000) para obtenção de melhores resultados. No trabalho desenvolvido por estes pesquisadores, a matriz de decisão

necessária ao VIP Analysis foi obtida utilizando uma função valor encontrada através do MACBETH, cuja escala semântica ajustou-se bem ao decisor. Os resultados foram considerados promissores para redução da dificuldade do processo conduzido pelo VIP Analysis.

Como já dito anteriormente, uma das desvantagens do método AHP, de Saaty (1980), é o uso de informação completa, que faz com que o decisor seja obrigado a fornecer muitas informações, o que leva a altas taxas de inconsistência devido à dificuldade do processo de elicitação (BELTON, STEWART, 2002). Alguns métodos buscaram corrigir esta defasagem, como por exemplo o método Belief AHP, de Ennaceur et al. (2011), que permite que o decisor expresse informações incompletas e imprecisas sobre grupos de alternativas, e apresente a importância dos critérios através de suas opiniões sobre grupos de critérios, onde a incerteza é levada em consideração até o momento da decisão final.

Punkka & Salo (2013) trouxeram uma abordagem que visa ampliar a análise de informações parciais sobre os parâmetros de uma função de valor aditivo, através da modelagem das declarações de preferência que associam conjuntos de alternativas ou atributos a conjuntos de classificações.

Objeto de estudo desta pesquisa, o método Fittradeoff foi desenvolvido por De Almeida et al. (2016), e trouxe uma vantajosa inovação ao combinar a forte base axiomática do procedimento tradicional do Tradeoff de Raiffa e Keeney (1976) com o uso de informações parciais, reduzindo o esforço cognitivo do decisor sem perder a robustez do Tradeoff.

2.2.2 Utilização de Simulação em Métodos de Apoio a Decisão Multicritério

O trabalho de Barron & Barret (1996) analisou a qualidade das decisões resultantes do uso de pesos distintos através de um estudo de simulação, descrito a seguir:

- Etapa 1. Gere um vetor aleatório a partir do espaço de peso, S_n . Estes serão indicados como pesos TRUE;
- Etapa 2. Gere uma matriz $m \times n$, V , de valores aleatórios cujas linhas, v_i , contenham os valores de atributo associados à i -ésima alternativa. Por convenção, os valores em cada coluna são dimensionados para que o menor valor seja zero e o maior seja um. Isso é obtido subtraindo o valor mínimo de cada entrada na coluna e dividindo pelo intervalo;

- Etapa 3. Calcule o valor global para cada uma das alternativas alternativas ($MAV_i = v_i^t W$), substituindo o peso (w) por pesos que seguem os seguintes padrões: TRUE, Centroide de ordem de classificação (ROC), iguais (EW), soma de classificação (RS), recíproca das classificações (RR). Cada escolha de pesos seleciona a melhor alternativa (ou seja, o maior valor global);
- Etapa 4. A decisão de seleção sob TRUE e o MAV correspondente são consideradas "corretas"; as seleções geradas sob os pesos substitutos (ROC, SW, RS, RR) são comparadas com as do TRUE.

O estudo também demonstrou que a escolha da distribuição para gerar os valores aleatórios e não escalonados v_{ij} não produz grandes diferenças qualitativas nos resultados (BARRON, BARRET, 1996).

O projeto de simulação utilizado por Barron & Barret (1996) incluiu 100 elementos (alternativas x atributos x estrutura) ao todo, sendo que os critérios variavam entre {3, 6, 9, 12, 15} e as alternativas em {5, 10, 15, 20, 25}, originando 100 matrizes de valor aleatório, assim como 100 conjuntos de pesos aleatórios. A combinação produziu 10.000 problemas (100 matrizes de valor x 100 conjuntos de pesos TRUE).

Diferentemente de Barron & Barret (1996), Butler et al. (1997) utilizaram em seus estudos a simulação de Monte Carlo para testar a sensibilidade dos pesos atribuídos a três tipos de casos encontrados na literatura, sendo estes: caso onde não há nenhuma informação sobre os pesos, onde os pesos estão ordenados e onde há informações parciais sobre os pesos. Isto permitiu a flexibilidade de variar todos os pesos de um modelo de múltiplos critérios simultaneamente e, além disso, investigar o impacto da variação na forma funcional da agregação de múltiplos atributos.

Já Roberts & Goodwin (2002) realizaram suas simulações com base no projeto descrito por Barron & Barret (1996), porém visando demonstrar que para o procedimento comumente usado pelo método SMARTS, onde os pesos são determinados sem restrições iniciais, os pesos ROC não são os melhores pesos substitutos, propondo então o uso de pesos de distribuição de ordem de classificação (ROD).

O estudo de simulação feito por Roberts & Goodwin (2002) foi utilizado para comparar a eficácia dos novos pesos ROD, ROC, RS e RR. Os resultados da decisão usando os pesos substitutos selecionados foram comparados com as decisões que seriam obtidas usando os pesos reais obtidos pela abordagem de classificação direta. Os problemas de decisão simulada

variavam as alternativas em {2, 4, 6, 8, 10} e os critérios em {2, 4, 6, 8, 10}, resultando em 25 estruturas de decisão. Foram realizados 10.000 testes de simulação para cada uma dessas estruturas, contabilizando 250.000 simulações. Os valores atribuídos à cada matriz de decisão variam de forma aleatória de 0 a 100 a partir de uma distribuição uniforme.

Ahn & Park (2008) buscaram validar uma nova abordagem em que o uso de informações sobre a intensidade de dominância demonstrada por cada alternativa substituiu o desenvolvimento de pesos aproximados. Para isto, foram utilizados procedimentos para classificação de alternativas quando seus valores são avaliados precisamente em vários atributos e os pesos dos atributos são conhecidos apenas por obedecer às relações ordinais, e as abordagens tradicionais foram comparadas ao novo procedimento proposto por Ahn & Park (2008), com as simulações seguindo o projeto apresentado:

1ª Etapa: Criar um problema de decisão simulado, com cada número aleatório gerado sequencialmente a partir da distribuição uniforme independente na faixa (0, 1), constituindo uma matriz $m \times n$ de valores marginais;

2ª Etapa: Remoção das alternativas dominadas da matriz de valores gerados;

3ª Etapa: Cálculo dos pesos dos atributos;

4ª Etapa: Classificação das alternativas;

5ª Etapa: Comparação das decisões resultantes pelo método desenvolvido por Ahn & Park (2008) e dos métodos de tomada de decisão já existentes, em termos de medidas de eficácia.

As simulações feitas por Ahn & Park (2008) envolveram quatro diferentes níveis de alternativas (3, 5, 7, 10) e cinco diferentes níveis de atributos (3, 5, 7, 10, 15), com o processo de geração e análise dos problemas de decisão sendo repetido até que 10 replicações de 10.000 tentativas fossem obtidas, gerando um total de 2.000.000 de simulações.

O estudo desenvolvido por Sarabando e Dias (2009), comparou diversas regras para classificação dos pesos com duas regras que até o momento não haviam sido amplamente estudadas, sendo elas a quase-dominância e a quase-otimalidade, que usam um parâmetro de tolerância para estender os conceitos de dominância e otimização. Estas comparações tiveram como base simulações de Monte Carlo, e foram estruturadas do seguinte modo:

Foram considerados problemas com 5, 10 e 15 critérios e 5, 10, 15, 25 e 50 alternativas, e foram gerados 5.000 matrizes aleatórias para cada dimensão do problema. Os valores de

critério único $v_i(a_j)$ e os pesos foram gerados a partir de uma distribuição uniforme no intervalo $[0, 1]$ (SARABANDO, DIAS, 2009).

Para avaliar diversos modelos que utilizam pesos substitutos, Danielson & Ekenberg (2016) usaram o seguinte processo de simulação:

1. Gera-se um vetor de peso aleatório com N componentes, chamado de TRUE (vetor de peso verdadeiro);
2. Determina-se a ordem entre os pesos no vetor para cada método a ser analisado (SMART, AHP, CAR);
3. Dadas alternativas M , geram-se valores aleatórios $M \times N$ com valor v_{ij} pertencente à alternativa j no critério i ;
4. Para cada método analisado (TRUE, ROC, RS, RR, EW), calcula-se $V_jX = \sum_i w_iX v_{ij}$. Cada método produz uma alternativa ótima (maior V_jX);
5. Para cada método avalia-se se a decisão produzida (alternativa escolhida) foi a mesma que a do peso verdadeiro.

As simulações foram realizadas com um número variável de critérios (3, 6, 9, 12) e alternativas (3, 6, 9, 12, 15) gerando um total de 20 cenários de simulação. Cada cenário foi simulado 10 vezes, cada vez com 10.000 tentativas, gerando um total de 2.000.000 de simulações (DANIELSON, EKENBERG, 2016).

Percebe-se que, em todos os estudos simulados apresentados, houve a geração de números pseudoaleatórios, que serão descritos brevemente no subtópico 3.2.3 Definição dos cenários de simulação.

2.3 Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho

Conforme destacado na Introdução deste trabalho, diversos trabalhos utilizaram o método FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016) em estudos de casos onde a aplicação do método foi feita em diversas situações reais gerenciais. Ainda que os resultados positivos alcançados por estes estudos de caso comprovem empiricamente vantagens do FITradeoff, como a redução do esforço cognitivo do decisor, existe hoje uma lacuna na literatura, pois não há, até o momento, um estudo abrangente que comprove através de simulações, as vantagens do método e o modo como diversos fatores relativos a problemas multicritério afetam o mesmo.

Assim, este estudo procura preencher esta lacuna. Para isto, foi desenhado um experimento, descrito no Capítulo 3, para dar base às diversas simulações realizadas. Com as simulações realizadas, buscou-se demonstrar como alguns fatores (número de critérios, número de alternativas e padrões de pesos) influenciam no aumento ou redução do número de perguntas que o decisor deverá responder. Através dos resultados obtidos, será possível comprovar vantagens teóricas do método FITradeoff, relativas ao número de questões a serem respondidas pelo decisor, de um modo que, até o momento, não havia sido feito. Com isto, espera-se que a relevância do FITradeoff para a área de multicritério fique mais evidente.

Constata-se, através da análise do estado da arte dos métodos que permitem o uso de informação parcial para a elicitación de preferências, que o método FITradeoff conta com alguns diferenciais frente aos outros métodos. Primeiramente, o FITradeoff realiza a elicitación de forma estruturada, o que grande parte dos métodos não faz. Adicionalmente, a forma na qual essa elicitación é estruturada difere dos outros métodos pois não tem como base o procedimento de SWING, mas sim, o do Tradeoff, que apresenta uma base axiomática mais forte que a do SWING. Com isto, evita-se o erro de modelagem, e, ao pedir que o decisor especifique pontos de preferência estrita, o que é cognitivamente mais simples que pontos exatos de indiferença, o FITradeoff ameniza os erros de elicitación presentes no Tradeoff tradicional. A minoria dos métodos analisados apresenta um processo de elicitación que é, ao mesmo tempo, flexível (dá liberdade ao decisor de parar o processo quando julgar adequado) e interativo (permite adicionar informações a cada interação com os novos resultados sendo computados com base nessas informações adicionais), o que traz mais liberdade ao decisor, sendo este, portanto, outro destaque do método FITradeoff.

Neste contexto, a literatura relativa ao método FITradeoff conta com 9 artigos científicos publicados em revistas, 6 capítulos de livro e 36 artigos publicados em congressos. Uma análise destes trabalhos mostra que apenas um deles inclui simulação, de forma introdutória.

Os estudos analisados relativos ao uso de simulações em métodos multicritério tiveram como foco a influência dos pesos e qual seria a forma de pesos mais adequada a se utilizar, conforme descrito em Barron & Barret (1996), Butler et al. (1997) e Sarabando e Dias (2009). A validação de modelos multicritério através da simulação foi feita apenas nos trabalhos de Ahn & Park (2008) e de Danielson & Ekenberg (2016).

Percebe-se que este trabalho apresenta contribuição efetiva para a literatura relativa tanto ao método FITradeoff, quanto à utilização de simulações para maior validação de métodos multicritério. Quando se faz uma análise dos estudos de decisão multicritério, constata-se que uma minoria utiliza simulações para validar modelos, e dentre os que utilizam simulação, a grande maioria o faz para a análise de pesos substitutos. Assim, o presente trabalho traz efetiva contribuição para a área de multicritério em geral, ao apresentar o uso de simulação de um modo inovador, realizando uma análise da performance de um método multicritério (FITradeoff), onde a variação no número de alternativas, critérios e distribuição dos pesos é estudada, de modo a avaliar sua influência no aumento (ou redução) do número de perguntas feitas ao decisor.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se a metodologia utilizada.

3.1 Questões de Pesquisa

Este trabalho busca avaliar o comportamento do método FITradeoff frente a algumas importantes questões de pesquisa (QP), detalhadas a seguir.

Primeiramente, para maior entendimento e validação do método, considerou-se interessante analisar a performance do FITradeoff na etapa de ordenação das constantes de escala, descrevendo a redução no número de alternativas potencialmente ótimas antes mesmo de se fazer uma pergunta ao decisor. Devido a este questionamento, formulou-se a seguinte pergunta:

QP1 – Com que percentual de casos o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação apenas com as informações obtidas na fase de ordenação das constantes de escala?

Uma das grandes vantagens do método FITradeoff é reduzir o esforço cognitivo do decisor através de perguntas consideradas mais simples de serem respondidas, já que elicitare pontos de preferência estrita demanda um menor esforço cognitivo do decisor em comparação à determinação de pontos de indiferença (como é feito pelo Tradeoff tradicional). Assim, ao avaliar a porcentagem de problemas que podem ser resumidos a poucas alternativas potencialmente ótimas, espera-se comprovar a vantagem teórica do FITradeoff quanto à sua facilidade cognitiva.

Um dos fatores considerados de extrema importância para qualquer método MCDA de agregação aditiva é a definição das constantes de escala. Este fator afeta a consistência do método, já que, conforme indicado por Borchering (1991), métodos como o Tradeoff, que apresentam ao decisor um processo de elicitação de escalas cognitivamente trabalhoso, exibem as maiores taxas de inconsistência, já que mais perguntas são necessárias para se encontrar uma solução. Assim, julgou-se importante avaliar a performance do método FITradeoff frente a variação nos padrões de constantes de escala. Deste modo, a segunda pergunta de pesquisa foi definida:

QP2 - Como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff?

Espera-se identificar que tipo de padrões de pesos (constantes de escala) apresentam uma melhor performance, ou seja, demandam menos perguntas do decisor. Esta questão de pesquisa também busca comprovar que, para um padrão de pesos iguais, o FITradeoff é capaz de encontrar uma única solução já na etapa de ordenação dos pesos.

Benchmarks são úteis para avaliar a eficácia de um método. Em relação ao número mínimo de perguntas necessárias para se encontrar uma solução, o procedimento Tradeoff, que demanda do decisor a definição de pontos de indiferença, usa um *benchmark* tradicional, definido como (N-1), ou seja, dado um número de critérios N, são necessárias N-1 perguntas para se encontrar uma solução (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Este *benchmark* não é necessariamente o ideal, pois a definição de pontos exatos de indiferença é considerada difícil. O FITradeoff utiliza relações de preferência estrita para definição dos pesos, considerando, portanto, um *benchmark* de $3 * (N-1)$ mais adequado. Apesar deste novo *benchmark* ter sido definido com mais perguntas que o tradicional, considera-se que estas perguntas demandam menos do decisor, já que empregam relações de preferência estrita (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). O estudo destes dois *benchmarks*, (N-1) e $3*(N-1)$ instigou uma comparação entre os mesmos, portanto, definiu-se a terceira questão de pesquisa como:

Teoricamente, o desempenho do método FITradeoff frente ao número de questões feitas ao decisor não deve sofrer grandes alterações caso aumente-se o número de alternativas do problema estudado, já que, em grande parte das vezes, um aumento das alternativas resulta em mais alternativas dominadas. Para comprovação deste fato, foi desenvolvida a seguinte pergunta de pesquisa:

QP3 - Qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor?

Esta questão de pesquisa procura avaliar como o aumento no número de alternativas afeta o desempenho do FITradeoff em relação a quantidade de perguntas que o decisor necessita responder, tanto em problemas com poucas alternativas quanto em problemas com muitas alternativas, onde a possibilidade de alternativas dominadas é maior.

Grande parte dos problemas multicritério apresentados na literatura lida com um número relativamente baixo de critérios (igual ou menor que 7), o que teoricamente faz sentido, já que um aumento no número de critérios leva a um processo de elicitação demorado, e, muitas vezes, estes critérios podem apresentar relações de dependência preferencial. Diante disto, considerou-se importante estudar como o método FITradeoff é

afetado pelo aumento no número de critérios, bem como o seu comportamento em problemas mais difíceis de serem encontrados na literatura, ou seja, problemas com muitos critérios. Este fator definiu a última pergunta de pesquisa:

QP4 - Qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor?

Com esta pergunta procura-se analisar como o aumento no número de critérios influencia no desempenho do FITradeoff em relação a quantidade de perguntas que o decisor necessita responder. Uma análise com ampla variação do número de critérios simulados possibilita estudar o FITradeoff nos mais variados cenários, trazendo assim, uma efetiva contribuição para a compreensão do comportamento do método e para literatura da área de decisão multicritério. Através da variação de problemas com muitos critérios, mais raros de serem encontrados na literatura e analisados em estudos simulados, por possivelmente apresentar relações de dependência preferencial, será possível verificar o comportamento do FITradeoff em situações incomuns.

Por fim, a última pergunta de pesquisa realizada foi:

QP5 - Através da análise de dois *benchmarks*, $(N-1)$ e $3(N-1)$, quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional?

Esta pergunta traz um insight sobre a vantagem do FITradeoff frente ao Tradeoff, sendo, portanto, de grande interesse para a análise do método.

O projeto do experimento foi descrito pelo tópico 3.2, seguido pela descrição das etapas do processo de simulação, no tópico 3.3.

3.2 Projeto do Experimento

Para começar a desenhar este experimento, foi necessário determinar qual seria a variação no número de critérios, a variação no número de alternativas e quais formas de pesos seriam utilizadas, para só então definir quais cenários seriam simulados.

Para o escopo desta pesquisa, não foi interessante a simulação de problemas com muitos critérios e muitas alternativas, pois existe uma grande chance de um alto grau de dominância, o que traria inconsistências aos resultados, que no momento, não serão analisadas. Igualmente, não é interessante cenários com poucos critérios e poucas alternativas, pois, devido à facilidade de resolução dos mesmos, poderiam ser gerados resultados enviesados, que trariam uma imagem de superioridade da performance do método FITradeoff em relação

ao número de perguntas necessárias a serem respondidas para encontrar uma solução única, imagem esta que poderia não ser condizente com a realidade.

Deste modo, como esta pesquisa busca apresentar uma ampla gama de cenários, desde os mais comuns na literatura, até os mais raros, diversos cenários de simulação foram criados, conforme apresentados a seguir.

3.2.1 Definição do número de critérios e alternativas a serem simulados

Empiricamente, é possível observar que grande parte dos problemas MCDA não lidam com um alto número de critérios (acima de 7), pois, muitas vezes, problemas com muitos critérios apresentam relações de dependência preferencial, que deveriam ter sido identificadas antes de se iniciar a elicitação das constantes de escala, ou seja, considera-se que problemas com 10 critérios ou mais podem estar mal formulados, devido a relações de independência preferencial e/ou redundância dos critérios. Apesar disto, definiu-se que também seriam feitos testes com cenários de simulação com um alto número de critérios, para que fosse possível estudar o comportamento do método nestas situações mais raras. Portanto, para analisar a variação que o aumento dos critérios causa na performance do FITradeoff frente ao número de perguntas feitas ao decisor, definiu-se que seriam usados os seguintes números de critérios: $N = \{3, 4, 5, 7, 10, 15\}$.

O número de alternativas foi definido visando demonstrar que, para problemas com um alto número de alternativas, independente da variação no número de alternativas, haveria pouca mudança nos resultados encontrados, já que, teoricamente, problemas com muitas alternativas também apresentam muitas alternativas dominadas. Como era de interesse identificar a partir de que ponto os resultados do FITradeoff apresentariam pouca variação, definiu-se que seriam analisados a seguinte variação no número de alternativas: $M = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$.

3.2.2 Definição das formas dos padrões de pesos a serem simulados

Em relação aos padrões de pesos (k_N), foram definidos 4 padrões de pesos distintos, contemplando padrões de pesos iguais, pesos com uma maior uniformidade e pesos não uniformes. Estes padrões de pesos foram chamados de: Padrão de pesos 1, Padrão de pesos 2, Padrão de pesos 3 e Padrão de pesos 4. Em todas as distribuições de pesos descritas, N representa o número de critérios, com i variando de 1 a N . As equações 3.1 a 3.7 descrevem

as formas destes padrões de pesos e suas restrições, enquanto a figura 3.1 os exemplifica visualmente.

a. Forma do Peso 1: Pesos iguais

$$i. k_1 = 1/N \quad \text{Equação 3.1}$$

b. Forma do Peso 2: Pesos aleatórios, seguindo as seguintes restrições:

$$i. \sum_i^N k_i = 1 \quad \text{Equação 3.2}$$

$$ii. k_1 = 1,5 * k_N \quad \text{Equação 3.3}$$

c. Forma do Peso 3: Pesos aleatórios, seguindo as seguintes restrições:

$$i. \sum_i^N k_i = 1 \quad \text{Equação 3.4}$$

$$ii. k_1 = 4 * k_N \quad \text{Equação 3.5}$$

d. Forma do Peso 4: Pesos aleatórios, seguindo as seguintes restrições:

$$i. \sum_i^N k_i = 1 \quad \text{Equação 3.6}$$

$$ii. k_1 = 10 * k_N \quad \text{Equação 3.7}$$

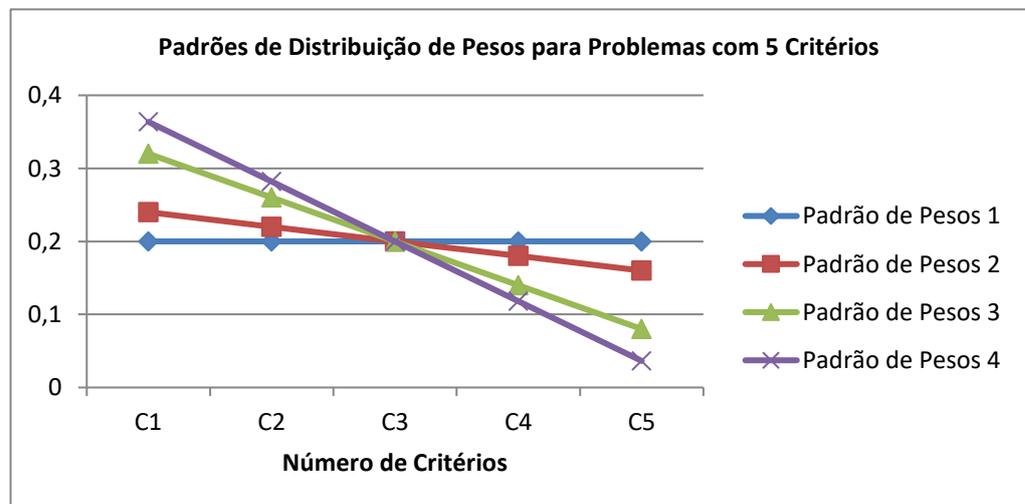


Figura 3.1 – Exemplo de um Gráfico com os 4 Padrões de Pesos Analisados (Esta Pesquisa, 2019)

3.2.3 Definição dos cenários de simulação

A partir dos dados definidos em relação ao número de critérios, que variam de 3 a 15 ($N=\{3, 4, 5, 7, 10, 15\}$), ao número de alternativas, que variam de 5 a 70 ($M=\{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$) e dos padrões de pesos, que variam entre P1 ($k_i=1/N$), P2 ($k_1=1,5*k_N$), P3

($k_I=4*k_N$) e P4 ($k_I=10*k_N$), diversos cenários a serem simulados foram criados. Estes dados foram agrupados em 3 grupos distintos, conforme apresentado a seguir.

Grupo 1 – Poucas Alternativas, com M variando do seguinte modo: $M = \{5, 10, 15\}$. Muitos Critérios, com N variando entre: $N = \{5, 7, 10, 15\}$. Padrões de Pesos variando entre os quatro padrões de pesos descritos;

Grupo 2 – Muitas Alternativas, com $M = \{50, 70\}$. Poucos Critérios, com $N = \{3, 4, 5\}$. Padrões de Pesos variando entre os quatro padrões de pesos descritos;

Grupo 3 – Número Médio de Alternativas, com M variando entre: $M = \{20, 30\}$. Variação entre todos os critérios, ou seja, $N = \{3, 4, 5, 7, 10, 15\}$. Padrões de Pesos variando entre os quatro padrões de pesos descritos;

Como problemas com 5 critérios costumam ser comuns na literatura, foi definido que os mesmos seriam aplicados a todos os cenários de simulação, ou seja, seriam feitos testes com 5 critérios e $M = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$. Para que fosse possível analisar todos os critérios de um modo geral, foi estabelecido que todos os números de critérios estudados seriam simulados para problemas com um número médio de alternativas, $M = \{20, 30\}$.

Para garantir aleatoriedade da amostra, o software utilizado faz uso de geração de números aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1. Uma sequência de números aleatórios pode ser descrita como uma sequência de n números obtidos a partir de funções matemáticas, como a de uma distribuição de probabilidades uniforme $U [0, 1]$, sem que nenhuma correlação exista dentro dessa sequência (GENTLE, 2003; L'ECUYER, 2001). Apesar dos números desta sequência serem considerados aleatórios, verdadeira aleatoriedade só existe na natureza, pois até o momento nenhum algoritmo conseguiu evitar que a sequência de números aleatórios gerados artificialmente possa ser reproduzida em outro experimento, portanto, os números ditos aleatórios são, na realidade, números pseudoaleatórios (JAYNES, 2002; FREITAS FILHO, 2008)

Existem diversos geradores de números pseudoaleatórios, e diversas formas de se criar algoritmos que utilizam sequências pseudoaleatórias. Para este estudo, destaca-se a geração de números pseudoaleatórios com distribuição uniforme contínua, conforme descrito por Thomopoulos (2013):

- 1) Gera-se um número aleatório uniformemente distribuído $u \sim U(0,1)$;
- 2) Sendo a o menor valor do intervalo e b o maior, calcula-se:

$$x = a + u(b - a)$$

Equação 3.1

3) O número aleatório será, portanto, igual a x .

Foram criados 120 cenários de simulação, conforme descritos pela tabela 3.1 – Cenários Simulados. Foi estabelecido um número de 3.000 instâncias, replicadas 40 vezes para cada um dos cenários simulados, ou seja, foram feitos um total de 120.000 iterações por cenário simulado. Com isto, gerou-se 14.400.000 problemas distintos. Esta amostra foi considerada grande o suficiente para o propósito desta pesquisa, estudar o comportamento do FITradeoff frente às questões descritas.

Tabela 3.1 – Cenários Simulados

		Padrão de pesos 1						
		Número de alternativas						
		5	10	15	20	30	50	70
Número de critérios	3	–	–	–	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
	4	–	–	–	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
	5	Cenário 9	Cenário 10	Cenário 11	Cenário 12	Cenário 13	Cenário 14	Cenário 15
	7	Cenário 16	Cenário 17	Cenário 18	Cenário 19	Cenário 20	–	–
	10	Cenário 21	Cenário 22	Cenário 23	Cenário 24	Cenário 25	–	–
	15	Cenário 26	Cenário 27	Cenário 28	Cenário 29	Cenário 30	–	–
		Padrão de pesos 2						
		Número de alternativas						
		5	10	15	20	30	50	70
Número de critérios	3	–	–	–	Cenário 31	Cenário 32	Cenário 33	Cenário 34
	4	–	–	–	Cenário 35	Cenário 36	Cenário 37	Cenário 38
	5	Cenário 39	Cenário 40	Cenário 41	Cenário 42	Cenário 43	Cenário 44	Cenário 45
	7	Cenário 46	Cenário 47	Cenário 48	Cenário 49	Cenário 50	–	–
	10	Cenário 51	Cenário 52	Cenário 53	Cenário 54	Cenário 55	–	–
	15	Cenário 56	Cenário 57	Cenário 58	Cenário 59	Cenário 60	–	–
		Padrão de pesos 3						
		Número de alternativas						
		5	10	15	20	30	50	70
Número de critérios	3	–	–	–	Cenário 61	Cenário 62	Cenário 63	Cenário 64
	4	–	–	–	Cenário 65	Cenário 66	Cenário 67	Cenário 68
	5	Cenário 69	Cenário 70	Cenário 71	Cenário 72	Cenário 73	Cenário 74	Cenário 75
	7	Cenário 76	Cenário 77	Cenário 78	Cenário 79	Cenário 80	–	–
	10	Cenário 81	Cenário 82	Cenário 83	Cenário 84	Cenário 85	–	–
	15	Cenário 86	Cenário 87	Cenário 88	Cenário 89	Cenário 90	–	–
		Padrão de pesos 4						
		Número de alternativas						
		5	10	15	20	30	50	70
Número de	3	–	–	–	Cenário 91	Cenário 92	Cenário 93	Cenário 94
	4	–	–	–	Cenário 95	Cenário 96	Cenário 97	Cenário 98

critérios	5	Cenário 99	Cenário 100	Cenário 101	Cenário 102	Cenário 103	Cenário 104	Cenário 105
	7	Cenário 106	Cenário 107	Cenário 108	Cenário 109	Cenário 110	—	—
	10	Cenário 111	Cenário 112	Cenário 113	Cenário 114	Cenário 115	—	—
	15	Cenário 116	Cenário 117	Cenário 118	Cenário 119	Cenário 120	—	—

Fonte: Esta pesquisa (2019)

Após definidos os cenários, foi possível começar a utilizar o software de simulação. O tópico 3.3 descreve cada etapa necessária para este estudo simulado, bem como alguns pontos do funcionamento do software.

3.3 Etapas do Processo de Simulação

Após realizada a etapa inicial deste experimento (definição dos cenários a serem simulados), foi possível elaborar os Inputs que seriam importados pelo Software de Simulações utilizado.

O software de simulações utilizado foi desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID), o qual permitiu efetuar um grande número de simulações específicas ao método FITradeoff e às questões de pesquisa analisadas. Este software de simulações utiliza um ambiente Delphi 2010 e a linguagem de programação Object Pascal. A aplicação do experimento é voltada para um ambiente Windows 10, com a importação dos dados sendo feita através de planilhas Excel.

Neste contexto, o experimento foi conduzido através de 6 etapas, detalhadas a seguir.

1. Inicia-se o software de simulações, e realiza-se a importação de uma matriz de consequência, $M \times N$, criada a partir dos cenários explicitados pela Tabela 3.1;
2. A partir do número de critérios (N) e do número de alternativas (M), o software cria uma matriz de consequências aleatórias a partir de uma distribuição uniforme contínua $[0, 1]$;
3. O software gera 4 formas de pesos distintas, descritas no tópico 3.2.3;
4. Para cada matriz aleatória gerada, simula-se o método FITradeoff para as 4 formas de pesos a serem analisadas;
5. Os resultados são apresentados no software, podendo ser exportados para o computador;
6. Exportam-se os resultados em uma planilha do Excel (xlsm).

O fluxograma abaixo (Figura 3.2) sintetiza as etapas elucidadas acima.

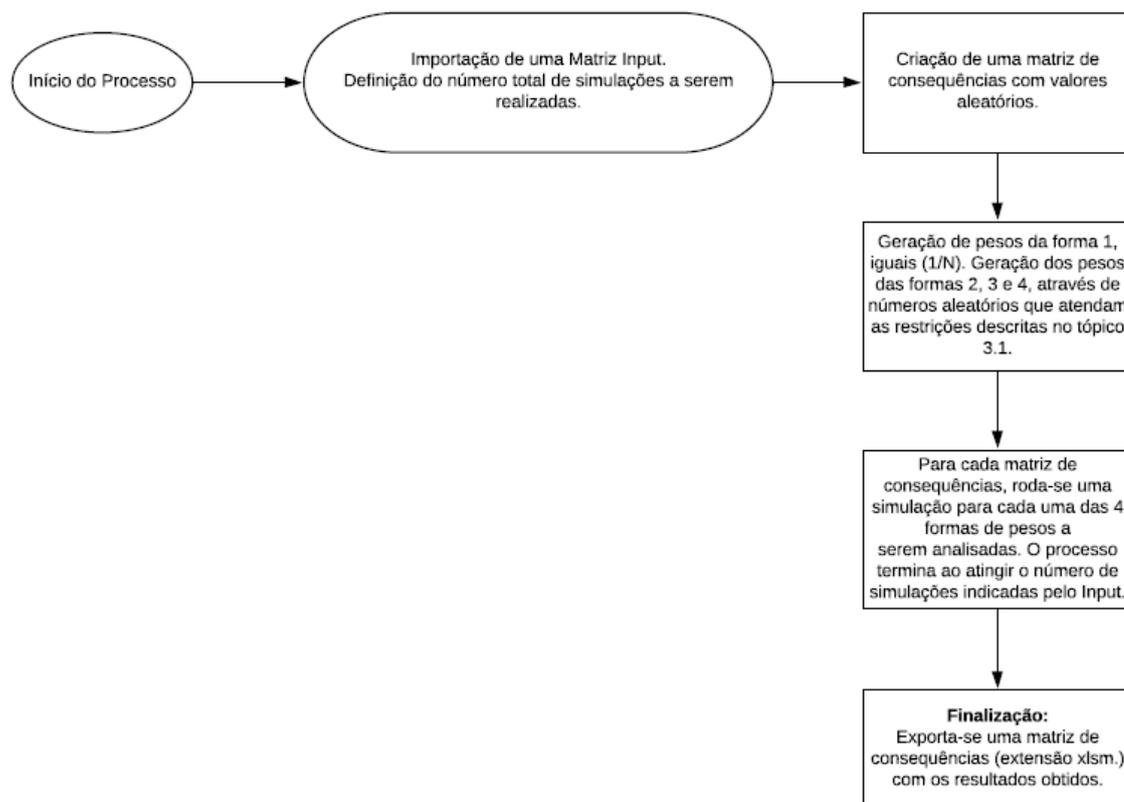


Figura 3.2 – Fluxograma do Processo de Simulação (Esta Pesquisa, 2019)

O output do software, representado por uma planilha de excel (xslm), é apresentado da seguinte maneira:

Os resultados gerais relativos à solução ótima (uma única alternativa potencialmente ótima) de cada forma de peso são agrupados segundo dois *benchmarks* avaliados. Para exemplificar, utiliza-se um problema com 5 critérios. A tabela 3.2 – Exemplo dos Outputs para o *Benchmark* (N-1), apresenta os resultados encontrados para um problema com 5 critérios, agrupando estes resultados segundo o *benchmark* tradicional de (N-1) perguntas, representando número mínimo de perguntas que o decisor precisa responder para encontrar uma única alternativa potencialmente ótima através de pontos de indiferença. A tabela 3.3 demonstra os resultados relativos ao segundo *benchmark*, $3*(N-1)$, o qual é considerado mais adequado para o método FITradeoff (DE ALMEIDA-FILHO *et al.*, 2017) pois representa um número mínimo de $3*(N-1)$ perguntas, onde $2*(N-1)$ perguntas são necessárias para a identificação de pontos de referência que são usados para calibrar o processo de decisão antes de se perguntar os pontos de indiferença (N-1), reduzindo o esforço cognitivo do processo

decisório, já que, conforme De Almeida et al. (2016) o decisor tem mais facilidade para definir pontos de preferência estrita do que de indiferença.

Tabela 3.2 – Exemplo dos Outputs para o Benchmark (N-1) em um problema com 5 critérios e 5 alternativas

Resultados (%) Considerando os Casos Simulados - Benchmark (N-1)									
	25%	50%	75%	100%	125%	150%	225%	300%	Acima de 300%
Número de Questões Respondidas	1	2	3	4	5	6	9	12	Acima de 12
Padrão de pesos 1	100%	–	–	–	–	–	–	–	100%
Padrão de pesos 2	64%	67%	69%	73%	76%	79%	86%	91%	100%
Padrão de pesos 3	23%	32%	39%	46%	50%	57%	71%	83%	100%
Padrão de pesos 4	23%	32%	41%	48%	51%	58%	72%	83%	100%

Fonte: Esta pesquisa (2019)

Os percentuais descritos na tabela 3.2 representam o intervalo de perguntas segundo o benchmark (N-1). Por exemplo, para o padrão de pesos 2, no intervalo de 50% do benchmark, temos $50\% * (5-1)$, ou seja, o intervalo representa duas perguntas. Assim, temos que em um problema com o padrão de pesos 2 e cinco critérios, o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação em até 67% dos casos com apenas duas perguntas.

Tabela 3.3 – Exemplo dos Outputs para o Benchmark $3*(N-1)$, em um problema com 5 critérios e 5 alternativas

Resultados (%) Considerando os Casos Simulados - Benchmark $3*(N-1)$							
	25%	50%	75%	100%	125%	150%	Acima de 150%
Número de Questões Respondidas	3	6	9	12	15	18	Acima de 18
Padrão de pesos 1	100%	–	–	–	–	–	–
Padrão de pesos 2	69%	79%	86%	91%	94%	96%	100%
Padrão de pesos 3	39%	57%	71%	83%	90%	94%	100%
Padrão de pesos 4	41%	58%	72%	83%	90%	94%	100%

Fonte: Esta pesquisa (2019)

Os percentuais descritos na tabela 3.3 representam o intervalo de perguntas segundo o benchmark $3*(N-1)$. Por exemplo, para o padrão de pesos 2, no intervalo de 50% do benchmark, temos $50\% * 3 * (5-1)$, ou seja, o intervalo representa 6 perguntas. Assim, temos que em um problema com o padrão de pesos 2 e cinco critérios, o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação em até 79% dos casos com apenas 6 perguntas, consideradas

cognitivamente mais simples que duas perguntas do Tradeoff tradicional, já que o FITradeoff lida com pontos de preferência estrita ao invés de indiferença, o que torna o processo de elicitação mais fácil para o decisor.

Também foram apresentados, para cada forma de peso, os resultados detalhados da simulação, que incluem as alternativas potencialmente ótimas de cada ciclo. Para exemplificar, apresenta-se os resultados da forma de pesos 2, de uma simulação cujo input foi uma planilha com 5 critérios e 5 alternativas, conforme mostra a Tabela 3.4. Para melhor entendimento da tabela, segue um exemplo: Das 120.000 iterações realizadas, quando 0 perguntas foram respondidas (Número de Perguntas Respondidas=0), ou seja, na etapa de ordenação dos pesos, 24.699 iterações resultaram em 1 única alternativa potencialmente ótima (o que significa que a solução foi encontrada), 54.271 iterações resultaram em 2 alternativas potencialmente ótimas, 30.468 iterações resultaram em 3 alternativas potencialmente ótimas, 9.870 iterações resultaram em 4 alternativas potencialmente ótimas e 692 iterações resultaram em 5 alternativas potencialmente ótimas.

Tabela 3.4 – Exemplo dos Outputs para o Padrão de pesos 2, em um problema com 5 critérios e 5 alternativas

Padrão de pesos 2					
	Número de Alternativas Potencialmente Ótimas				
Número de Perguntas Respondidas	1	2	3	4	5
0	24699	54271	30468	9870	692
1	51780	36149	6725	598	49
2	3663	33699	5628	490	41
3	2670	32071	4709	372	36
4	4378	28708	3776	291	35
5	3652	25852	3092	183	31
6	3882	22663	2476	106	31
7	32	22631	2476	106	31
8	5851	17814	1499	49	31
9	2562	15703	1066	31	31
10	1991	13953	865	22	0
11	2387	11834	605	14	0
12	2179	9828	437	9	0
13	1509	8420	337	8	0
14	1068	7482	208	7	0

15	1237	6322	135	3	0
16	1119	5264	76	1	0
17	858	4430	52	1	0
18	514	3933	35	1	0
19	757	3189	22	1	0
20	479	2715	18	0	0
21	388	2333	12	0	0
22	284	2051	10	0	0
23	321	1734	6	0	0
24	277	1458	5	0	0
25	310	1151	2	0	0
26	172	979	2	0	0
27	175	805	1	0	0
28	130	675	1	0	0
29	133	543	0	0	0
30	62	481	0	0	0
31	73	408	0	0	0
32	42	366	0	0	0
33	51	315	0	0	0
34	23	292	0	0	0
35	28	264	0	0	0
36	35	229	0	0	0
37	18	211	0	0	0
38	76	135	0	0	0
39	19	116	0	0	0
40	54	62	0	0	0
41	9	53	0	0	0
42	7	46	0	0	0
43	8	38	0	0	0
44	7	31	0	0	0
45	11	20	0	0	0
46	6	14	0	0	0
47	7	7	0	0	0
48	2	5	0	0	0
49	2	3	0	0	0
50	1	2	0	0	0
51	1	1	0	0	0
52	1	0	0	0	0

Fonte: Esta pesquisa (2019)

Com isto, encerra-se o Capítulo 3, tendo sido apresentado o projeto do experimento, definidos os números de critérios e alternativas a serem avaliados, bem como os padrões de

distribuições dos pesos. O capítulo 4 traz os resultados encontrados após realizadas as simulações.

4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os resultados encontrados foram apresentados de forma a responder as 5 seguintes questões de pesquisa:

- QP1 - Com que percentual de casos o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação?
- QP2 - Como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff?
- QP3 - Qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor?
- QP4 - Qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor?
- QP5 - Através da análise de dois *benchmarks*, (N-1) e 3(N-1), quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional?

Após respondidas estas questões, foi feita uma discussão dos resultados encontrados, apresentados no tópico 4.6.

4.1 QP1 - Com que percentual de casos o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação apenas com as informações obtidas na fase de ordenação das constantes de escala?

Teoricamente, é óbvio que, para pesos iguais, é possível realizar uma recomendação ao decisor já na fase de ordenação, o que foi comprovado pelos experimentos, que demonstraram que para o padrão de pesos 1 (pesos iguais), o FITradeoff encontra, já na ordenação dos pesos, uma única alternativa potencialmente ótima (em todos os casos analisados). Deste modo, estes resultados foram aqui apresentados de forma textual, para não influenciar, de um modo tendencioso, as demais análises gráficas. Portanto, os resultados descritos pelas Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 consideraram apenas os resultados encontrados pelos problemas com padrões de pesos distintos, com destaque para o fato que, durante a etapa de ordenação dos pesos, não foi identificado diferença entre os resultados apresentados pelo padrão de pesos 2 ($k_1 = 1,5 * k_N$), padrão de pesos 3 ($k_1 = 4 * k_N$) e padrão de pesos 4 ($k_1 = 10 * k_N$).

A Figura 4.1 apresenta o número de alternativas potencialmente ótimas (POA - *Potentially Optimal Alternatives*) após a etapa de ordenação das constantes de escala. As POAs representam alternativas com valor global maior ou igual que o valor global das demais alternativas do problema. Deste modo, o gráfico (Figura 4.1) descreve os resultados da forma mais geral possível (todos os problemas são analisados, com os resultados sendo agrupados em uma única linha de um gráfico de linhas). Conforme demonstrado pela Figura 4.1, percebe-se que, de um modo geral, ou seja, analisando concomitantemente todos os problemas, o método FITradeoff consegue reduzir o número de alternativas potencialmente ótimas (POAs) a 5 em 81% dos casos analisados. Reduz-se a 8 POAs aproximadamente 97% dos casos.

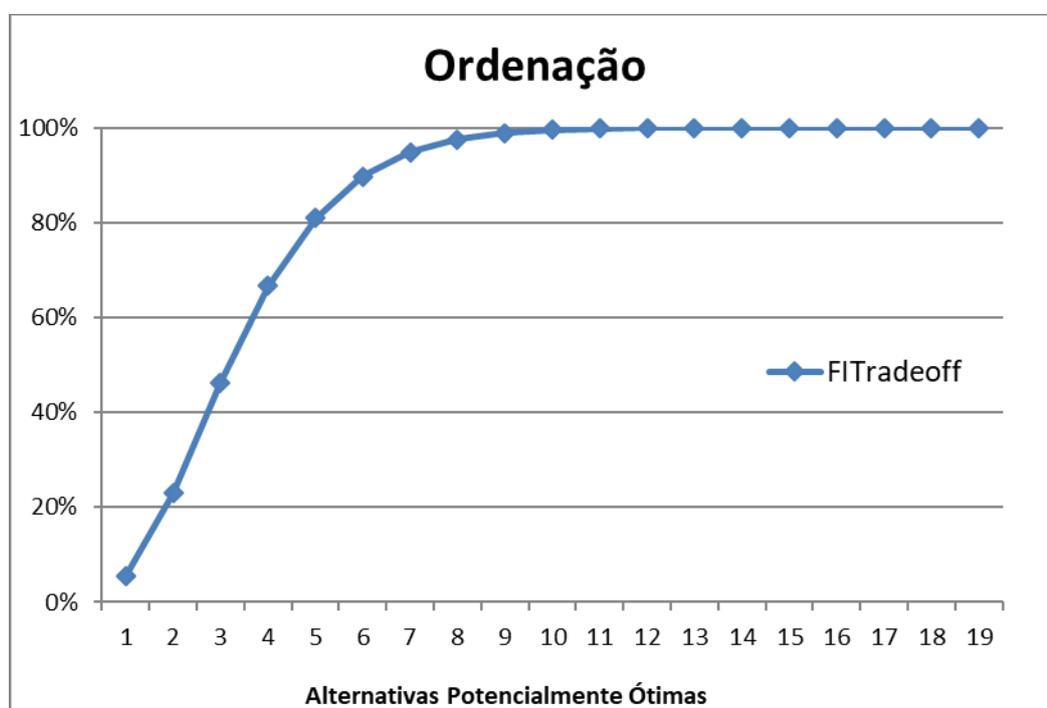


Figura 4.1 – POA após ordenação das constantes de escala (Esta Pesquisa, 2019)

Como os problemas avaliados foram muito distintos, mostra-se, mais especificamente, os resultados encontrados na fase de ordenação dos pesos segundo grupos de alternativas. Primeiramente, a Figura 4.2 apresenta os resultados dos problemas com poucas alternativas (quantidade de alternativas variando entre 5, 10 e 15). Em seguida, a Figura 4.3 mostra os resultados gerais de problemas com uma quantidade média de alternativas (variando entre 20 e 30). Por fim, os resultados gerais demonstrados pela Figura 4.4 tratam de problemas com uma grande quantidade de alternativas, variando entre 50 e 70. Os resultados exaustivos de cada caso analisado são apresentados no apêndice A.

A Figura 4.2 lida, de um modo geral, com problemas com 5, 10 e 15 alternativas. Nesta figura, percebe-se que, em problemas com 5, 7, 10 e 15 critérios, o número de alternativas potencialmente ótimas (POAs) é reduzido a 3 em, respectivamente, 75%, 62%, 51% e 40% dos casos. Com o mesmo número de critérios (5, 7, 10 e 15), o número de POAs é reduzido a 5 em 97%, 94%, 88% e 80% dos casos, respectivamente. Por fim, em problemas com 15 critérios o número de POAs é reduzido a 11 POAs em 99% dos casos, enquanto que, em problemas com 5, 7 e 10 critérios, o número de POAs é reduzido a 8 POAs em 100% dos casos.

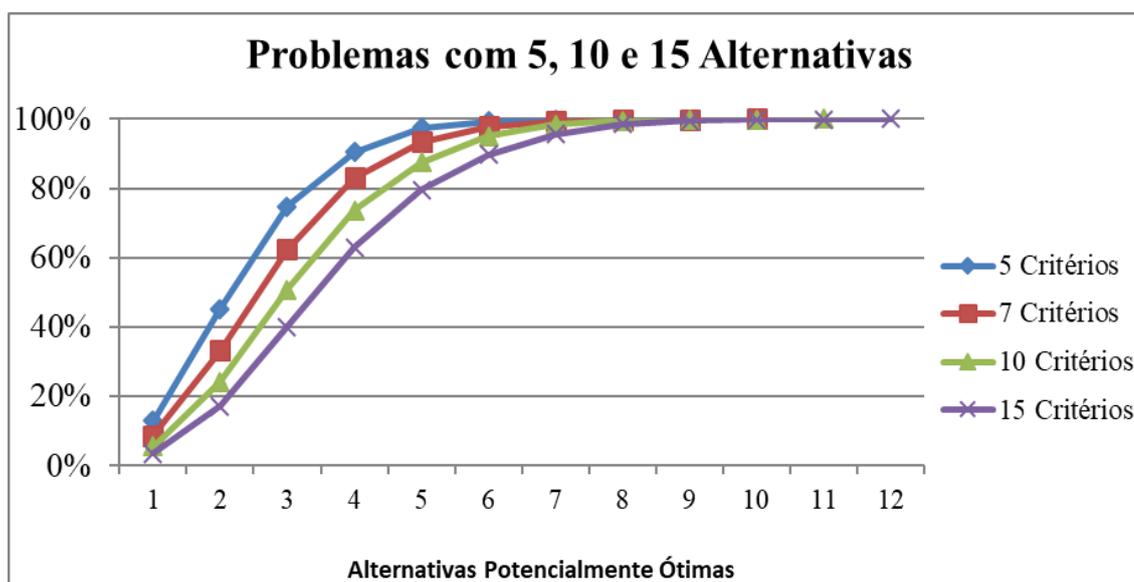


Figura 4.2 – Gráfico dos resultados gerais relativos à etapa de ordenação das constantes de escala para problemas com 5, 10 e 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

Assim, infere-se que, em problemas com até 15 alternativas o número de POAs foi reduzido a 8, em aproximadamente 100% dos casos analisados.

Analisando problemas com 20 e 30 alternativas, descritos na Figura 4.3, onde todos os critérios simulados se encontram, foi possível perceber que o número de POAs é reduzido a 5 em 98%, 93%, 86%, 71%, 55% e 38% dos casos com 3, 4, 5, 7, 10 e 15 critérios, respectivamente. Observou-se também que o número de POAs é reduzido a 8 POAs em: 100% dos casos com 3 e 4 critérios, 99% dos casos com 5 critérios, 97% dos casos com 7 critérios, 92% dos casos com 10 critérios e 82% dos casos com 15 critérios. Por fim, nota-se que o número de POAs é reduzido a 11 em: 100% dos casos com 5 e 7 critérios, 99% dos casos com 10 critérios e 98% dos casos com 15 critérios.

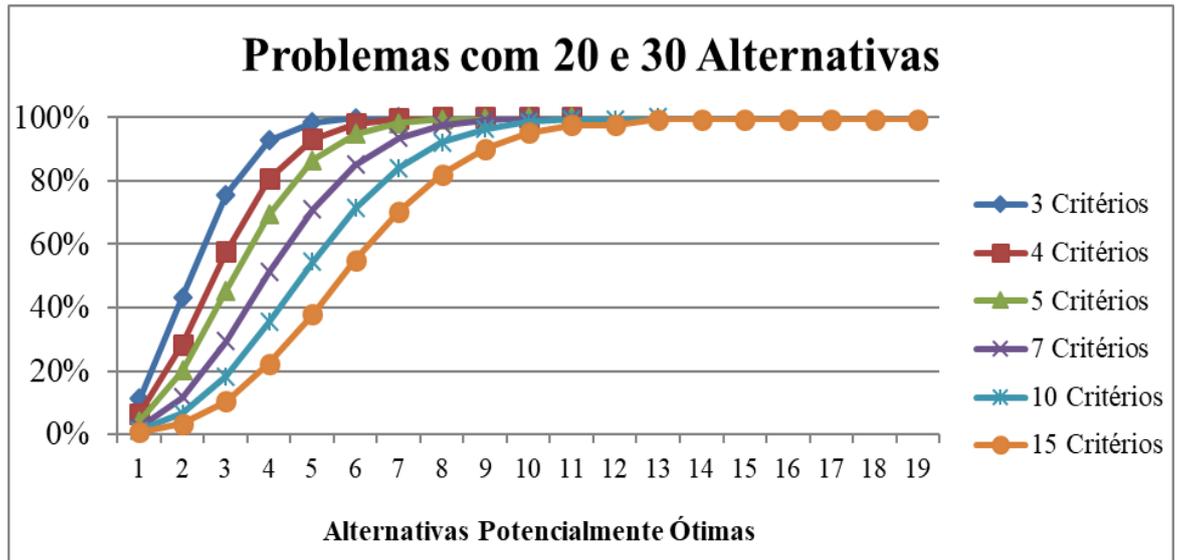


Figura 4.3 – Gráfico dos resultados gerais relativos à etapa de ordenação das constantes de escala, para problemas com 20 e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

A Figura 4.4 descreve os resultados encontrados na fase de ordenação das constantes de escala para problemas com 50 e 70 alternativas. Os resultados demonstram que os problemas com 3, 4 e 5 critérios foram reduzidos a 5 alternativas potencialmente ótimas após a fase de ordenação em 93%, 79% e 64% dos casos, respectivamente. Foi também observado que os problemas com 3, 4 e 5 critérios foram reduzidos a 8 alternativas potencialmente ótimas após a ordenação dos pesos em 100%, 99% e 96% dos casos, respectivamente. Finalmente, observou-se que os problemas com 3, 4 e 5 critérios foram reduzidos a 11 alternativas potencialmente ótimas após a etapa de ordenação dos pesos em 100% dos casos.

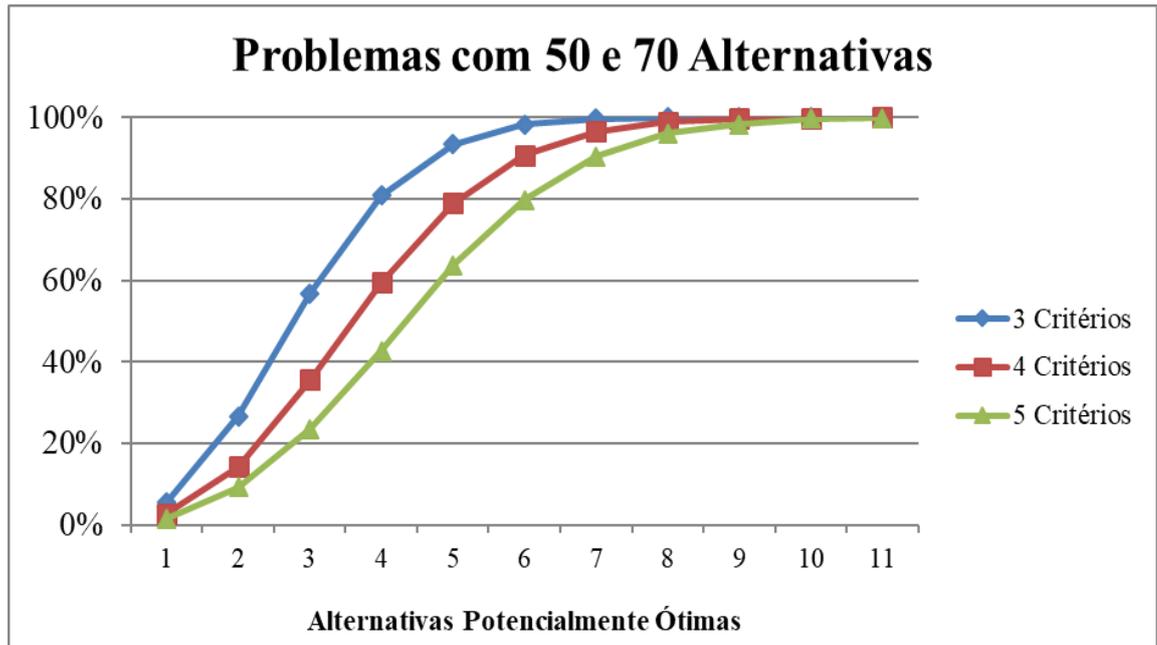


Figura 4.4 – Gráfico dos resultados gerais relativos à etapa de ordenação das constantes de escala, para problemas com 50 e 70 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

4.2 QP2 - Como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff?

Os resultados foram apresentados segundo dois grupos de critérios. Primeiramente, foram analisados problemas com poucos critérios (3, 4 e 5), conforme descritos pela Figura 4.5. Já os problemas com muitos critérios (7, 10 e 15) foram analisados conforme demonstrado pela Figura 4.6. A escolha de descrever os resultados conforme os critérios e os padrões de pesos fez sentido, pois, o experimento identificou que estes são os dois fatores que mais influenciam o desempenho do FITradeoff quanto ao número de perguntas feitas ao decisor. No apêndice B, são apresentados, de forma gráfica, os resultados exaustivos de cada caso estudado.

O intervalo de perguntas analisado foi definido do seguinte modo: $25\%*(N-1)$; $50\%*(N-1)$; $75\%*(N-1)$; $100\%*(N-1)$; $125\%*(N-1)$; $150\%*(N-1)$; $225\%*(N-1)$; $300\%*(N-1)$; e, Acima de $300\%*(N-1)$. Para exemplificar, em um problema com 7 critérios ($N = 7$), o intervalo de perguntas será: 1 pergunta ($0,25*(7-1) = 1$), 3 perguntas ($0,5*(7-1) = 3$), 4 perguntas ($0,75*(7-1) = 4$), 6 perguntas ($1,0*(7-1) = 6$), 7 perguntas ($1,25*(7-1) = 7$), 9 perguntas ($1,5*(7-1) = 9$), 13 perguntas ($2,25*(7-1) = 13$), 18 Perguntas ($3,0*(7-1) = 18$), e Acima de 18 perguntas ($3,0*(5-1) = 18$). Com isto, o *benchmark* de $(N-1)$, do procedimento

tradicional do Tradeoff será analisado, bem como o *benchmark* de $3*(N-1)$. Para a análise geral da influência da distribuição dos padrões de pesos, descrito pelas figuras 4.5 e 4.6, foi padronizado que independente do número de critérios, o intervalo de perguntas incluiria 0 perguntas, ou seja, etapa de ordenação das constantes de escala.

A Figura 4.5 demonstra, de modo geral, os resultados obtidos para problemas com 3, 4 e 5 critérios (grupo 1). Analisando o *benchmark* de $3 * (N-1)$ perguntas, considerado o mais ideal para o método FITradeoff, percebe-se que, a menor variação entre os resultados obtidos ocorre na pergunta $3 * (N-1)$, onde, para problemas com 3 critérios e padrão de pesos 2 a solução é encontrada, em 92% dos casos, com até 6 perguntas ($3 * (3-1) = 6$), enquanto que, com o mesmo número de perguntas, os Padrão de pesos 3 e 4 encontraram uma solução em 74% e 71% das vezes, respectivamente. Para problemas com 4 critérios, os resultados demonstraram que, para o padrão de pesos 2, com até 9 perguntas ($3 * (4-1) = 9$), uma única solução é encontrada em 89% dos casos, já os Padrão de pesos 3 e 4 encontraram uma única solução em 75% das vezes. Por fim, problemas com 5 critérios encontram com 12 perguntas ($3 * (5-1) = 12$) uma única solução em: 88%, 75%, 76% das vezes, para os Padrão de pesos 2, padrão de pesos 3 e padrão de pesos 4, respectivamente.

Os resultados encontrados pelo experimento (descritos pela Figura 4.5) demonstraram que em todos os casos, a performance do FITradeoff foi melhor para o padrão de pesos 2 ($k_1 = 1,5 * k_N$), onde os pesos se concentram nos primeiros critérios na ordenação, ou seja, é um padrão mais uniforme que os Padrão de pesos 3 ($k_1 = 4 * k_N$) e 4 ($k_1 = 10 * k_N$). Em relação a performance do FITradeoff quanto ao número de questões feitas ao decisor, percebe-se que a diferença entre os padrões de pesos é mais acentuada durante as primeiras perguntas, com a maior variação ocorrendo na primeira pergunta, ou seja: para problemas com 3 critérios e padrão de pesos 2, na primeira pergunta, 65% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3 e o padrão de pesos 4, 11% dos problemas são resolvidos; para problemas com 4 critérios e padrão de pesos 2, na primeira pergunta, 56% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3 e o padrão de pesos 4, 6% dos problemas são resolvidos; para os problemas com 5 critérios e padrão de pesos 2, na primeira pergunta, 54% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3 e o padrão de pesos 4, 8% dos problemas são resolvidos.

Apesar das diferenças entre os resultados encontrados no padrão de pesos 2 e nos Padrão de pesos 3 e 4 terem sido facilmente percebidas, devido à sua grande variação, o mesmo não foi válido ao se avaliar a diferença entre os resultados encontrados pelo padrão de

pesos 3 em relação ao padrão de pesos 4. Segundo a Figura 4.5, percebe-se claramente que houve pouca variação entre estes padrões de pesos. A variação entre os resultados foi de 0% a 3% (independente dos critérios analisados), com um único ponto fora da curva em problemas com 3 critérios, os quais, com 2 perguntas, encontram uma única solução em 35% dos casos para o padrão de pesos 3 e 20% dos casos para o padrão de pesos 4.

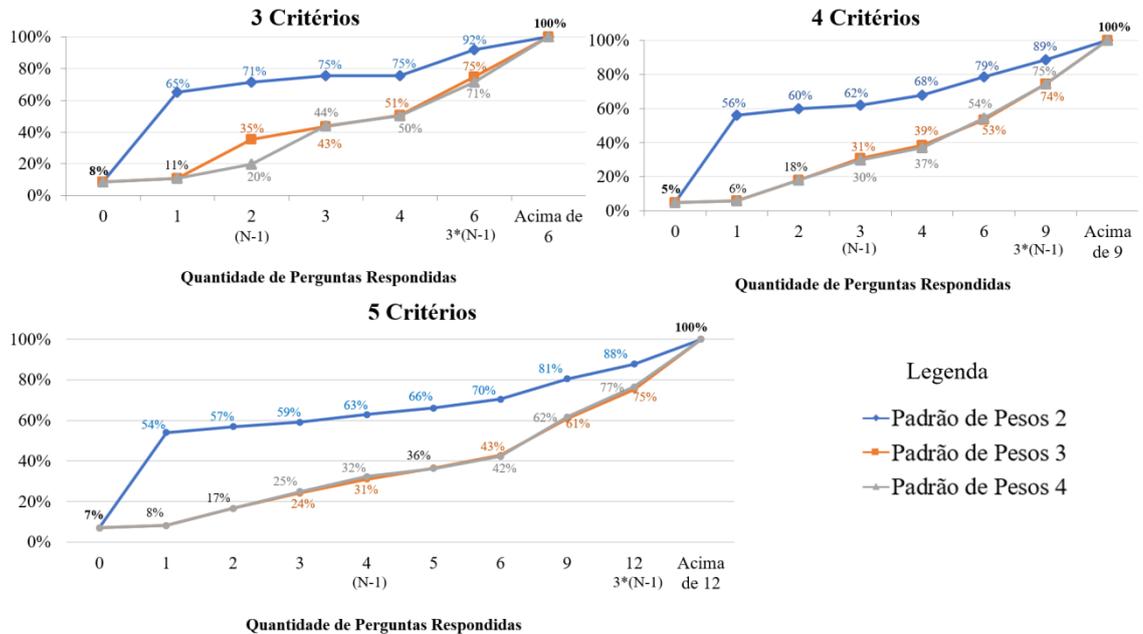


Figura 4.5 – Gráfico dos resultados gerais relativos ao estudo da influência das distribuições de pesos, para problemas com 3, 4 e 5 critérios (Esta Pesquisa, 2019)

A Figura 4.6 demonstra, de modo geral, os resultados obtidos para problemas com 7, 10 e 15 critérios (grupo 2). Novamente foram analisados os resultados obtidos pelo *benchmark* de $3 * (N-1)$ perguntas, sendo este o momento em que a variação entre os resultados do padrão de pesos 2 e dos Padrão de pesos 3 e 4 são menos acentuados. Percebe-se que, para problemas com 7 critérios e padrão de pesos 2 uma única solução é encontrada em 84% dos casos, com até 18 perguntas ($3 * (7-1) = 18$), enquanto, com o mesmo número de perguntas, os Padrão de pesos 3 e 4 encontraram uma solução em 71% e 74% das vezes, respectivamente. Para problemas com 10 critérios, os resultados demonstraram que, para o padrão de pesos 2, com até 27 perguntas ($3 * (10-1) = 27$), uma única solução é encontrada em 79% dos casos, já os Padrão de pesos 3 e 4 encontraram uma única solução em 63% e 65% das vezes, respectivamente. Por fim, problemas com 15 critérios encontram com 42 perguntas

($3 * (15-1) = 42$) uma única solução em: 71%, 49%, 54% das vezes, para os Padrão de pesos 2, padrão de pesos 3 e padrão de pesos 4, respectivamente.

Os resultados encontrados pelo experimento (descritos pela Figura 4.6) demonstraram que em todos os casos, a performance do FITradeoff foi melhor para o padrão de pesos 2 ($k_1 = 1,5 * k_N$), onde os pesos se concentram nos primeiros critérios na ordenação, ou seja, é um padrão mais uniforme que os Padrão de pesos 3 ($k_1 = 4 * k_N$) e 4 ($k_1 = 10 * k_N$). Em relação à performance do FITradeoff quanto ao número de questões feitas ao decisor, percebe-se que a diferença entre os padrões de pesos é mais acentuada durante as primeiras perguntas, com a maior variação ocorrendo na primeira pergunta para problemas com 7 critérios, até a nona pergunta para problemas com 10 critérios e até a décima quarta para problemas com 15 critérios. A diferença encontrada foi da seguinte ordem: para problemas com 7 critérios e padrão de pesos 2, na primeira pergunta, 51% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3 e o padrão de pesos 4, 7% dos problemas são resolvidos; para problemas com 10 critérios e padrão de pesos 2, na nona pergunta, 58% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3, 16% dos problemas são resolvidos e para o padrão de pesos 4, 17% dos problemas são resolvidos; para o problemas com 15 critérios e padrão de pesos 2, na décima quarta pergunta, 52% dos problemas são resolvidos, para o padrão de pesos 3 e o padrão de pesos 4, 10% dos problemas são resolvidos.

Novamente notou-se que, apesar das diferenças entre os resultados encontrados no padrão de pesos 2 e nos Padrão de pesos 3 e 4 terem sido facilmente percebidas, devido à sua grande variação, o mesmo não foi válido ao se avaliar a diferença entre os resultados encontrados pelo padrão de pesos 3 em relação ao padrão de pesos 4. De acordo com a Figura 4.6, percebe-se claramente que houve pouca variação entre estes padrões de pesos. A variação entre os resultados foi de 0% a 3% para os problemas com 7 e 10 critérios, e de 0,5% a 5% para os problemas com 15 critérios.

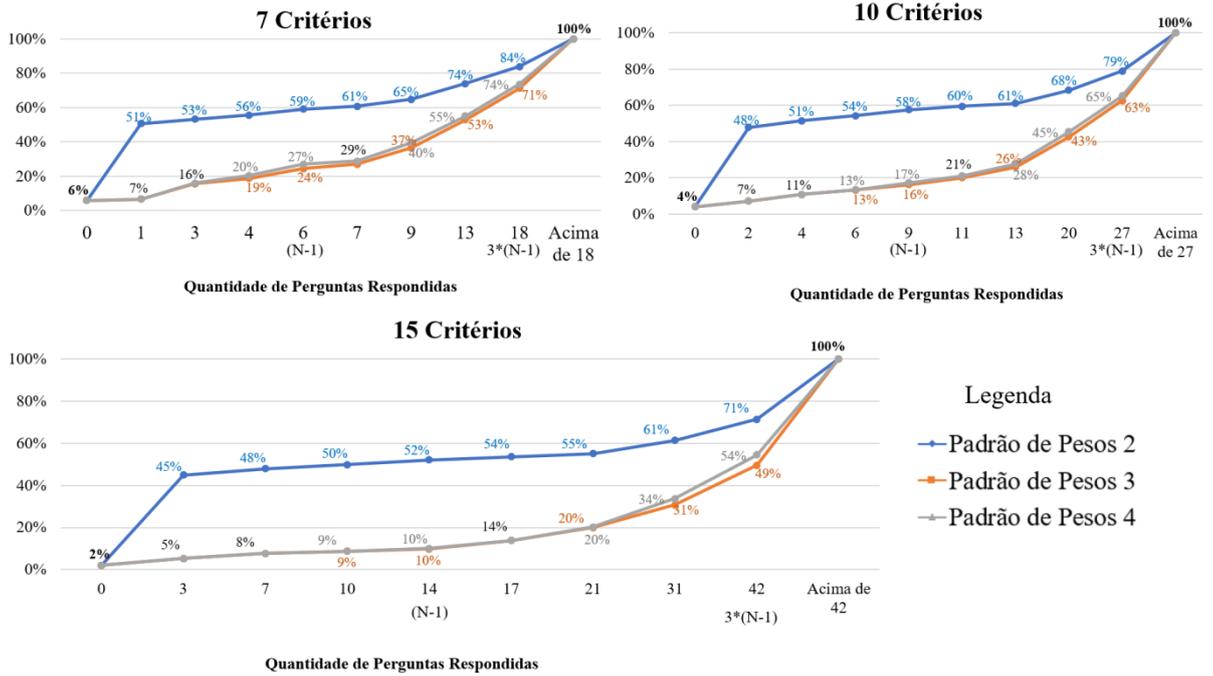


Figura 4.6 – Gráfico dos resultados gerais relativos ao estudo da influência das distribuições de pesos, para problemas com 7, 10 e 15 critérios (Esta Pesquisa, 2019)

4.3 QP3 - Qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor?

Para responder esta pergunta, foram analisados os resultados dos problemas descritos pelo tópico 3.2. Os problemas exemplificados pelas Figuras 4.7 e 4.8 lidam com o padrão de pesos 2 e o padrão de pesos 3, respectivamente. Escolheu-se não demonstrar os resultados para o padrão de pesos 4 pois foram muitos semelhantes aos encontrados pelo padrão de pesos 3. Para maiores detalhes, consultar o apêndice C. Os problemas descritos pelas Figuras 4.7 e 4.8 são problemas com 5 critérios. Escolheu-se demonstrar os resultados de problemas com 5 critérios pois este tipo de problema permite uma análise geral de todas as variações de alternativas estudadas, ou seja, $M = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$. Destaca-se que uma razão pela qual o número de critérios 5 ter sido simulado em todas as variações de alternativas, $M = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$, foi sua relevância na literatura, pois muitos são os problemas que utilizam 5 critérios em seu desenvolvimento. O apêndice C apresenta os resultados exaustivos encontrados.

O intervalo de perguntas analisado foi definido do seguinte modo: $25\% * (N-1)$; $50\% * (N-1)$; $75\% * (N-1)$; $100\% * (N-1)$; $125\% * (N-1)$; $150\% * (N-1)$; $225\% * (N-1)$; $300\% * (N-1)$.

1);e, Acima de $300\%*(N-1)$. Para exemplificar, em um problema com 5 critérios ($N = 5$), o intervalo de perguntas será: 1 pergunta ($0,25*(5-1) = 1$), 2 perguntas ($0,5*(5-1) = 2$), 3 perguntas ($0,75*(5-1) = 3$), 4 perguntas ($1,0*(5-1) = 4$), 5 perguntas ($1,25*(5-1) = 5$), 6 perguntas ($1,5*(5-1) = 6$), 9 perguntas ($2,25*(5-1) = 9$), 12 perguntas ($3,0*(5-1) = 12$), e acima de 12 perguntas ($3,0*(5-1) = 12$).

Na Figura 4.7, apresenta-se um problema com padrão de pesos 2 e 5 critérios, e nota-se que: com 1 pergunta, 64% dos problemas com 5 alternativas são resolvidos, 58% dos problemas com 10 alternativas são resolvidos, 55% dos problemas com 15 alternativas são resolvidos, 53% dos problemas com 20 alternativas são resolvidos, 51% dos problemas com 30 alternativas são resolvidos e 49% dos problemas com 50 e 70 alternativas são resolvidos. Percebe-se que, com 4 perguntas (*benchmark* tradicional, $N-1$), 73% dos problemas com 5 alternativas são resolvidos, 66% dos problemas com 10 alternativas são resolvidos, 64% dos problemas com 15 alternativas são resolvidos, 62% dos problemas com 20 alternativas são resolvidos, 60% dos problemas com 30 alternativas são resolvidos, 58% dos problemas com 50 alternativas são resolvidos e 57% dos problemas com 70 alternativas são resolvidos. Para o *benchmark* de $3 * (N-1)$ perguntas, ou seja, para 12 perguntas, resolve-se os problemas de 5 alternativas em 91% dos casos, os problemas com 10 alternativas em 89% dos casos, os problemas com 15 alternativas em 88% dos casos, os problemas com 20 e 30 alternativas em 87% dos casos e os problemas com 50 e 70 alternativas em 86% dos casos.

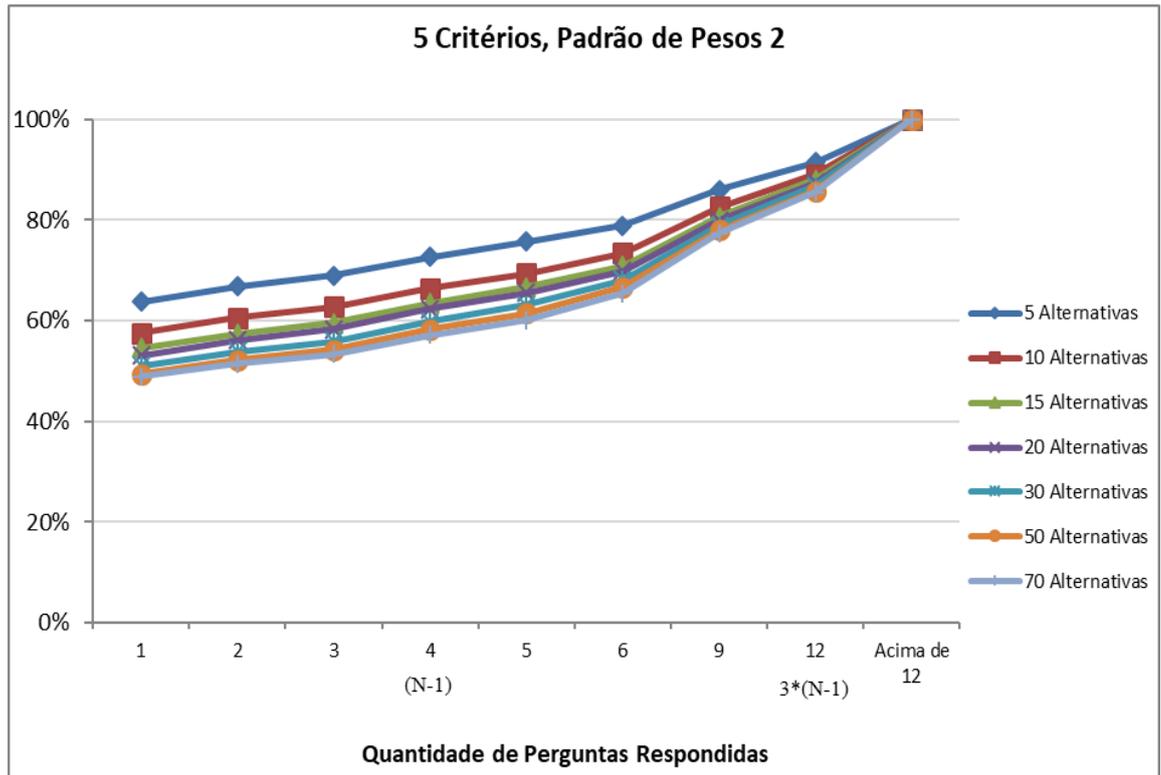


Figura 4.7 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Critérios e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

Na Figura 4.8, apresenta-se um problema com padrão de pesos 3 e 5 critérios, e observa-se que: com 1 pergunta, 23% dos problemas com 5 alternativas são resolvidos, 12% dos problemas com 10 alternativas são resolvidos, 8% dos problemas com 15 alternativas são resolvidos, 6% dos problemas com 20 alternativas são resolvidos, 4% dos problemas com 30 alternativas são resolvidos e 2% dos problemas com 50 e 70 alternativas são resolvidos. Percebe-se que, com 4 perguntas (*benchmark* tradicional, $N-1$), 46% dos problemas com 5 alternativas são resolvidos, 36% dos problemas com 10 alternativas são resolvidos, 33% dos problemas com 15 alternativas são resolvidos, 30% dos problemas com 20 alternativas são resolvidos, 27% dos problemas com 30 alternativas são resolvidos, 24% dos problemas com 50 alternativas são resolvidos e 22% dos problemas com 70 alternativas são resolvidos. Para o *benchmark* de $3 * (N-1)$ perguntas, ou seja, para 12 perguntas, resolve-se os problemas de 5 alternativas em 83% dos casos, os problemas com 10 alternativas em 78% dos casos, os problemas com 15 alternativas em 76% dos casos, os problemas com 20 em 75% dos casos, com 30 alternativas em 73% dos casos, os problemas com 50 alternativas em 71% e os problemas com 70 alternativas em 70% dos casos.

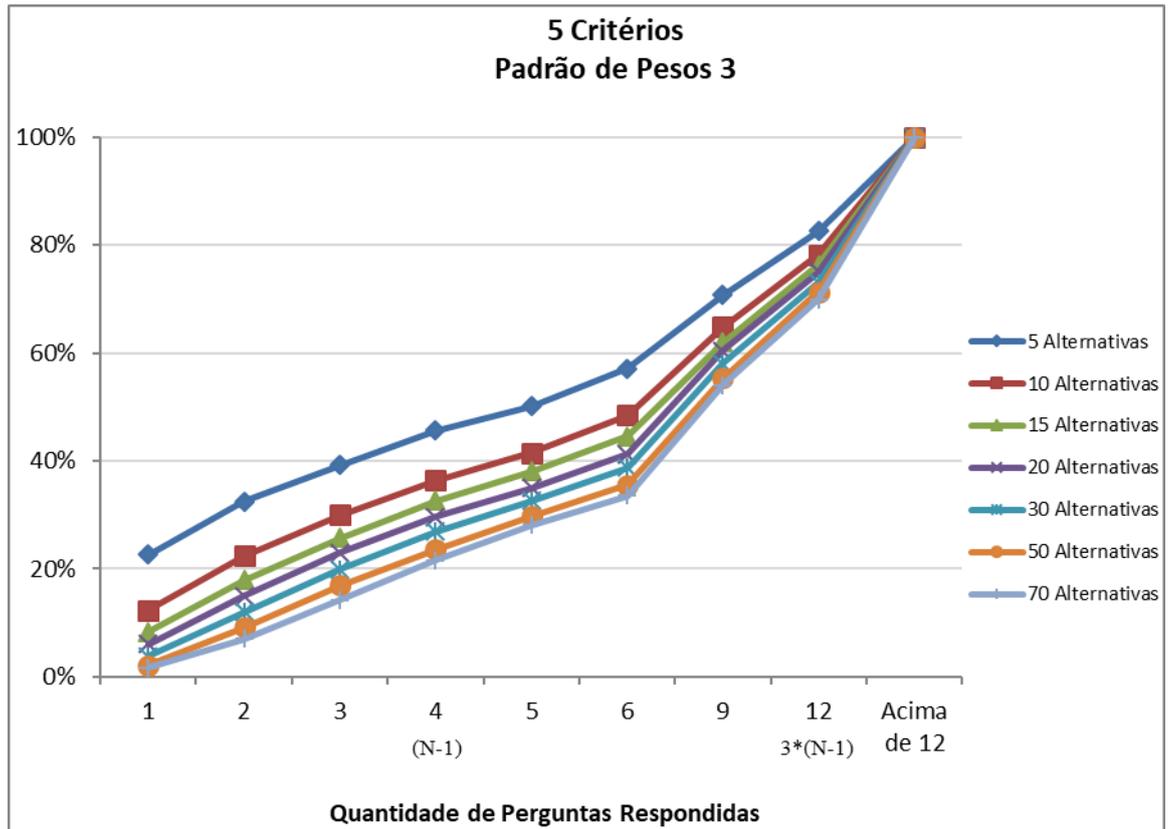


Figura 4.8 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

4.4 QP4 - Qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor?

Os resultados encontrados, exemplificados pelas figuras 4.9 e 4.10 demonstram que, à medida que se aumenta o número de critérios, a porcentagem de problemas resolvidos diminui, o que é condizente pois problemas com mais critérios são mais complexos, ou seja, demandam maior esforço cognitivo do decisor. Uma análise exhaustiva de todos os problemas descritos pelo tópico 3.2 se encontram no Apêndice D.

O intervalo de perguntas utilizado para analisar a influência da variação no número de critérios foi feito de modo a incorporar o *benchmark* de $(N-1)$ perguntas e $3*(N-1)$ perguntas para todos os critérios. Portanto, foi padronizado o seguinte intervalo:

- 2 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $(N-1)$ para 3 critérios;
- 3 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $(N-1)$ para 4 critérios;
- 4 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $(N-1)$ para 5 critérios;

- 6 perguntas, que corresponde ao *benchmark* (N-1) para 7 critérios e ao *benchmark* de $3*(N-1)$ para 3 critérios;
- 9 perguntas, que corresponde ao *benchmark* (N-1) para 10 critérios e $3*(N-1)$ para 4 critérios;
- 12 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $3*(N-1)$ para 5 critérios;
- 14 perguntas, que corresponde ao *benchmark* (N-1) para 15 critérios;
- 18 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $3*(N-1)$ para 7 critérios;
- 27 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $3*(N-1)$ para 10 critérios;
- 42 perguntas, que corresponde ao *benchmark* $3*(N-1)$ para 15 critérios.

Analisando problemas com 20 alternativas e padrão de pesos 2, conforme mostra a Figura 4.9, percebe-se que, para o *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas, a diferença máxima entre os percentuais de casos resolvidos foi de 31% entre problemas com 3 critérios e 15 critérios.

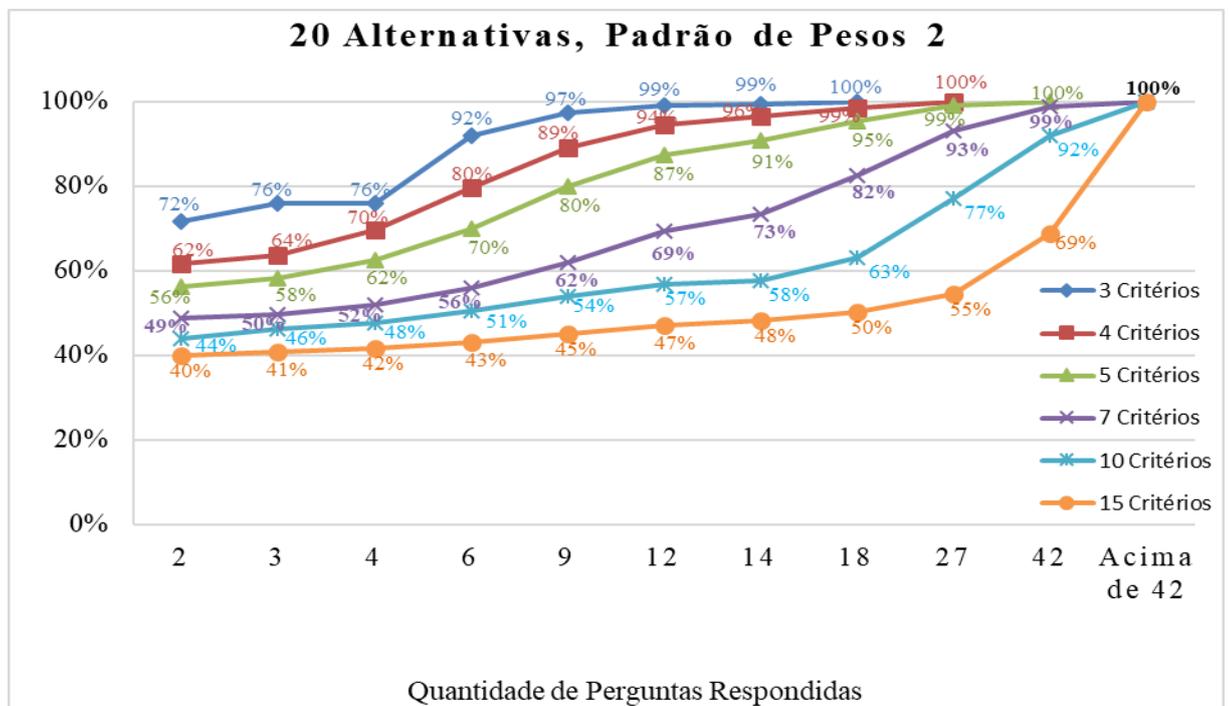


Figura 4.9 – Gráfico dos Resultados encontrados para problemas com 20 alternativas e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

A Figura 4.10 analisa os problemas com 20 alternativas e padrão de pesos 3, e foi possível perceber que para o *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas, houve uma diferença máxima de 55% entre os problemas com 3 critérios e 15 critérios.

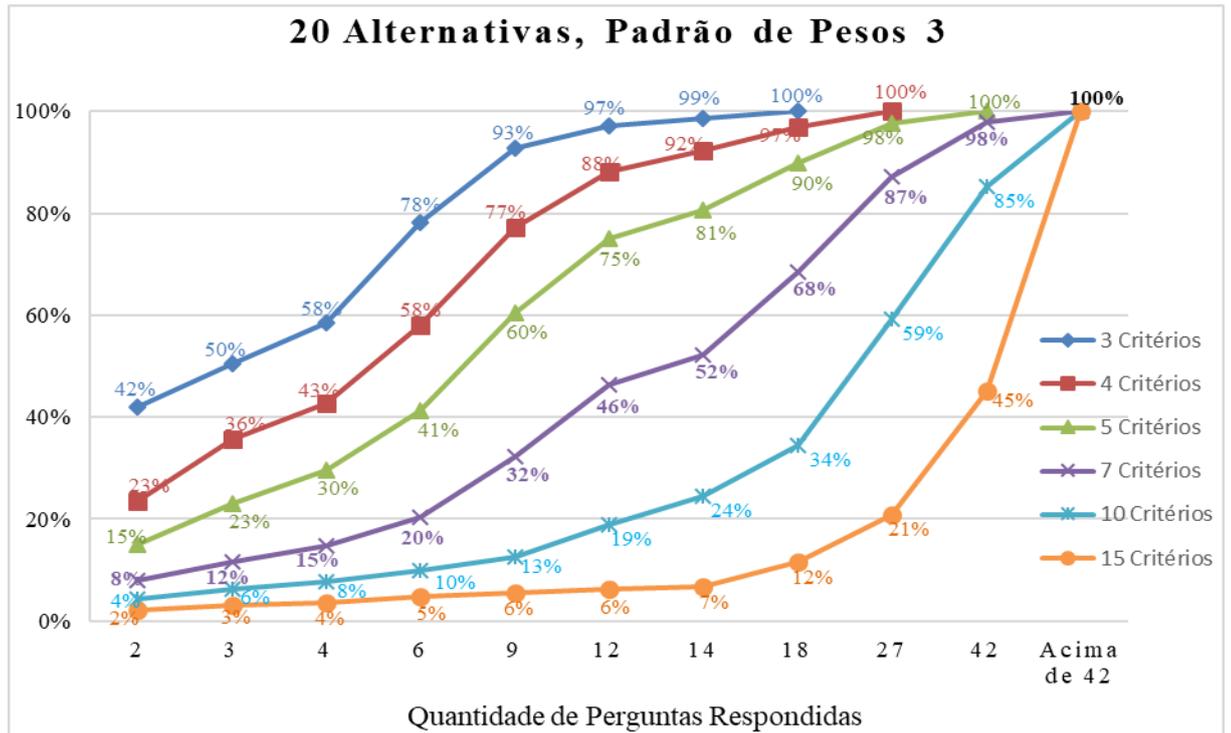


Figura 4.10 – Gráfico dos Resultados encontrados para problemas com 20 alternativas e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

4.5 QP5 - Através da análise de dois *benchmarks*, $(N-1)$ e $3*(N-1)$, quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional?

Para responder esta pergunta, uma análise foi feita tendo por base o *benchmark* tradicional, de $(N-1)$ perguntas e um novo *benchmark*, considerado mais adequado ao método FITradeoff pois conforme mencionado nesta pesquisa, este *benchmark* corresponde a $3*(N-1)$ perguntas, sendo $2*(N-1)$ necessárias para identificar pontos de referência que são usados em um processo de calibração que procura definir os limites de cada constante de escala, antes de se perguntar ao decisor sobre pontos de indiferença $(N-1)$, de modo a facilitar o processo para o decisor, diferentemente do *benchmark* tradicional, comumente utilizado no Tradeoff, o qual refere-se a $(N-1)$ declarações de indiferença, que corresponde ao número mínimo de perguntas que o decisor precisa responder para encontrar uma única alternativa potencialmente ótima.

Como forma de comparação, a Figura 4.11 apresenta, na forma de gráficos de barra, os resultados gerais relativos ao *benchmark* tradicional de $(N-1)$ e ao *benchmark* considerado mais adequado ao FITradeoff, de $3 * (N-1)$. Estes resultados tiveram por base problemas com

padrão de pesos 2 ($k_1 = 1,5 * k_N$) e padrão de pesos 3 ($k_1 = 4 * k_N$). Como os resultados do padrão de pesos 3 foram praticamente iguais aos do padrão de pesos 4, optou-se por apresentá-los como um adendo, no apêndice E.

Os resultados descritos pela Figura 4.11 demonstraram que, para o padrão de pesos 2 ($k_1 = 1,5 * k_N$) o *benchmark* tradicional (N-1) encontrou uma solução em aproximadamente: 71% dos casos com 3 critérios, 62% dos casos com 4 critérios, 63% dos casos com 5 critérios, 59% dos casos com 7 critérios, 58% dos casos com 10 critérios e 52% dos casos com 15 critérios. Já o *benchmark* de $3*(N-1)$ encontrou uma solução em aproximadamente: 92% dos casos com 3 critérios, 89% dos casos com 4 critérios, 88% dos casos com 5 critérios, 84% dos casos com 7 critérios, 79% dos casos com 10 critérios e 61% dos casos com 15 critérios.

Os resultados encontrados para o padrão de pesos 3 ($k_1 = 1,5 * k_N$) revelam que o *benchmark* tradicional de (N-1) perguntas encontra uma solução em: 35% dos casos com 3 critérios, 31% dos casos com 4 e 5 critérios, 24% dos casos com 7 critérios, 16% dos casos com 10 critérios e 10% dos casos com 15 critérios. Já o *benchmark* de $3*(N-1)$ encontrou uma solução em: 75% dos casos com 3 critérios, 74% dos casos com 4 critérios, 75% dos casos com 5 critérios, 71% dos casos com 7 critérios, 63% dos casos com 10 critérios e 49% dos casos com 15 critérios.

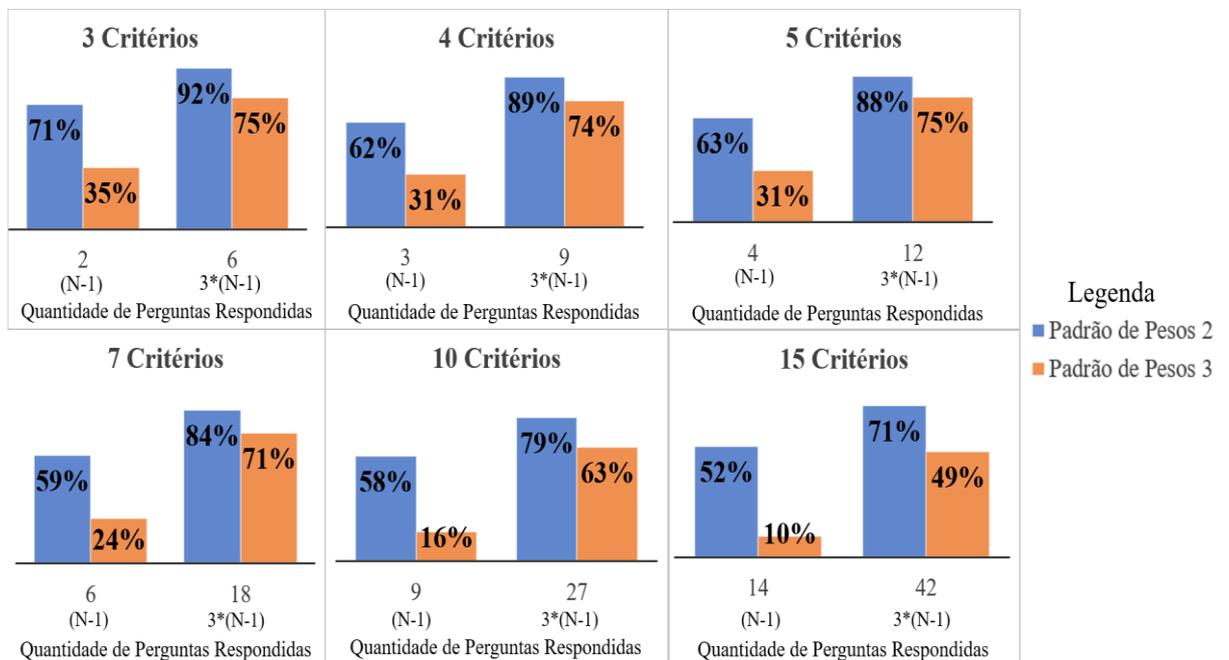


Figura 4.11 – Gráficos dos Resultados gerais relativos ao estudo dos benchmarks (N-1) e $3 * (N-1)$, para os Padrão de pesos 2 e 3 (Esta Pesquisa, 2019)

4.6 Discussão dos Resultados

No método FITradeoff, à cada etapa da elicitación das constantes de escala, o espaço de pesos é atualizado em relação à escolha do decisor, de modo que o conjunto de alternativas potencialmente ótimas vai sendo reduzido até que se encontre a solução do problema, ou seja, até que se tenha apenas uma alternativa potencialmente ótima. Portanto, a possibilidade de reduzir o número de alternativas potencialmente ótimas já na etapa de ordenação dos pesos é interessante pois pode facilitar e agilizar o processo, e, possivelmente, evitar possíveis inconsistências encontradas nesta etapa, considerada, segundo De Almeida et al. (2016), complexa e fundamental para o processo decisório.

Neste contexto, os resultados apresentados foram muito positivos, já que foi possível demonstrar a eficácia do método FITradeoff no que diz respeito à redução de alternativas potencialmente ótimas já na fase de ordenação dos pesos, pois, independentemente do número de critérios ou alternativas analisadas, o FITradeoff, de um modo geral, foi capaz de reduzir os problemas analisados a 8 alternativas potencialmente ótimas em aproximadamente 98% dos casos. Mais especificamente, tendo como base os dados apresentados pela Figura 4.3, pode-se dizer que, mesmo para problemas com 15 critérios e 30 alternativas, considerados raridade na literatura já que podem incluir dependência preferencial entre critérios e/ou várias alternativas dominadas, após a etapa de ordenação dos pesos restam apenas 8 alternativas potencialmente ótimas. Salienta-se que, na etapa de ordenação dos pesos, não houve diferença entre os resultados encontrados pelos problemas com padrão de pesos 2, padrão de pesos 3 e padrão de pesos 4, o que leva ao entendimento que, nesta etapa, a forma do padrão de pesos não influencia no número de alternativas potencialmente ótimas. Destaca-se que, para o padrão de pesos iguais (padrão de pesos 1), já na ordenação a solução é encontrada, ou seja, 100% dos casos apresentam uma única alternativa potencialmente ótima, o que confirma que o método é capaz de encontrar uma solução já na etapa de ordenação dos pesos para problemas com pesos iguais.

O FITradeoff disponibiliza ferramentas de visualização gráfica descritas no Anexo A (gráfico de bolhas, gráfico de barras e gráfico radar) que auxiliam o decisor durante o processo decisório, que tem a liberdade de finalizar o processo quando julgar mais adequado. Os resultados demonstraram que, de um modo geral, em 81% dos casos analisados o número de alternativas ótimas pode ser reduzido a 5 já na fase de ordenação e com o uso das

ferramentas gráficas disponibilizadas pelo FITradeoff é possível que o número de questões feitas ao decisor seja ainda menor do que o *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas.

Conforme frisado nesta pesquisa, em modelos aditivos, a definição das constantes de escala é essencial para a resolução de problemas MCDA. Assim, definir quais padrões de pesos se adequam melhor ao método estudado, bem como à medida que estes padrões influenciam a performance do FITradeoff é de suma importância. De acordo com as figuras 4.5 e 4.6, o experimento demonstrou que a influência da distribuição dos pesos é alta, especialmente durante as primeiras perguntas feitas ao decisor, já que, para o padrão de pesos 2 (mais uniforme, $k_1 = 1,5 * kN$) encontra-se uma solução com até 3 perguntas entre 45% a 75% das vezes, enquanto com os padrões menos uniformes (P3, onde $k_1 = 4 * kN$; P4, onde $k_1 = 10 * kN$), com o mesmo número de perguntas, uma solução é encontrada entre 5% a 43% das vezes. Em relação ao *benchmark* de $3*(N-1)$, os resultados encontrados, demonstrados pelas figuras 4.5 e 4.6 indicam que padrões de pesos uniformes (P2, onde $k_1 = 1,5 * kN$) apresentam resultados superiores aos padrões de pesos menos uniformes (P3, onde $k_1 = 4 * kN$; P4, onde $k_1 = 10 * kN$), independentemente do número de critérios e alternativas do problema. Para o padrão de pesos 2 (mais uniforme), foi possível encontrar a solução entre 71% a 92% das vezes, tendo como base o *benchmark* de $3*(N-1)$. Portanto, foi possível demonstrar que em nenhum momento padrões de pesos menos uniformes apresentam uma performance superior aos padrões de pesos mais uniformes. Apesar da performance dos cenários onde os padrões de pesos apresentam pouca uniformidade ter sido inferior, ela não foi de todo ruim, já que o FITradeoff conseguiu encontrar uma solução entre 49% a 75% das vezes, utilizando por base o *benchmark* de $3*(N-1)$.

Um possível modo de reduzir o número de perguntas que o decisor deve responder quando os padrões de pesos são pouco uniformes (distribuição do padrão de pesos 3 e padrão de pesos 4) é o uso das ferramentas gráficas. Em casos reais, onde o decisor pode utilizar os gráficos disponibilizados pelo SAD do FITradeoff para auxiliar no processo decisório, é possível reduzir o número de questões a serem respondidas para os padrões de pesos pouco uniformes.

Em relação à definição do número de alternativas de um problema MCDA, julga-se que, ao elevar o número de alternativas, a chance de haver um aumento no número de alternativas dominadas é grande. Consequentemente, é dito que um aumento no número de alternativas não necessariamente causa um aumento no número de perguntas a serem feitas ao decisor, já

que a dominância causa a eliminação de alternativas. Os resultados descritos pela figura 4.7 e pela figura 4.8 comprovam esta afirmação, já que: nos cenários simulados para o padrão de pesos 2, analisando os resultados encontrados no *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas, percebe-se que os resultados encontrados em problemas com 20 alternativas, onde 87% dos problemas encontraram a solução com até 9 perguntas, foram aproximadamente 1% melhores que os resultados encontrados em problemas com 70 alternativas, nos quais 86% dos problemas foram resolvidos com até 9 perguntas; para cenários simulados com o padrão de pesos 3, analisando os resultados encontrados no *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas, percebe-se que os resultados encontrados em problemas com 30 alternativas, onde 74% dos problemas encontraram a solução com até 9 perguntas, foram aproximadamente 4% melhores que os resultados encontrados em problemas com 70 alternativas, nos quais 70% dos problemas foram resolvidos com até 9 perguntas. Tem-se então, a comprovação que o número de alternativas de um problema pouco influencia no número mínimo de perguntas que o decisor deverá responder para encontrar uma resolução. Adicionalmente, foi possível identificar que o padrão de pesos 2 (mais uniforme) foi menos suscetível à variação no número de alternativas do que o padrão de pesos 3 (menos uniformes), o que pode indicar uma relação entre uniformidade dos padrões de pesos e aumento de alternativas dominadas. Por fim foi possível perceber que à medida que o número de perguntas aumenta, a diferença entre os resultados encontrados em problemas com 20 alternativas e 70 alternativas diminui, independentemente do padrão de pesos e número de critérios.

Adicionalmente, o fato do aumento no número de alternativas não afetar significativamente a performance do FITradeoff (quanto ao número de perguntas feitas ao decisor) é uma vantagem quando comparado com os métodos que usam apenas avaliação holística, já que, neles, o aumento no número de alternativas pode tornar o processo mais difícil, cognitivamente, para o decisor.

Assim como um aumento no número de alternativas causa um aumento nas relações de dominância, um aumento no número de critérios pode envolver dependência preferencial, com a diferença de que problemas com muitos critérios são mais complexos, demandam mais perguntas do decisor e apresentam, geralmente, mais inconsistências, ou seja, aumentar o número de critérios realmente resulta em um aumento no número de perguntas a serem respondidas. Os resultados do experimento validaram estes preceitos, pois o aumento no número de critérios trouxe uma redução do número de problemas resolvidos com um mínimo

de $3*(N-1)$ perguntas, ou seja, foi possível verificar que à medida que o número de critérios aumenta, o número de perguntas necessárias para encontrar solução também aumenta.

Enfatiza-se que problemas com muitos critérios (acima de 7 critérios) costumam ser problemas mal estruturados, pois podem apresentar critérios redundantes e/ou relações de dependência preferencial. Deste modo, a existência de problemas reais de decisão multicritério com 10 ou 15 critérios conforme analisados neste estudo, é improvável. Assim, é aconselhável estruturar melhor o problema antes de se utilizar um método de decisão multicritério. No caso do FITradeoff, os melhores resultados foram encontrados para problemas com 3, 4 ou 5 critérios (mais comuns na literatura).

Para avaliar a performance de um método, é importante definir um *benchmark* que represente o número mínimo de questões que o decisor deverá responder. Dentre os *benchmarks* apresentados pela literatura, o *benchmark* de $(N-1)$ perguntas é comumente usado pelo Tradeoff tradicional, enquanto para o FITradeoff, o uso do *benchmark* de $3*(N-1)$ perguntas é proposto como mais adequado. A análise destes dois *benchmarks*, utilizados por modelos similares, mas que diferem muito quanto à dificuldade cognitiva do processo, é de interesse para o FITradeoff, pois pode servir para demonstrar as vantagens do mesmo.

Analisando o *benchmark* $3*(N-1)$, percebe-se que o FITradeoff encontra uma solução entre 71% a 92% das vezes, para cenários com o padrão de pesos 2, e 49% a 75% das vezes, para cenários com o padrão de pesos 3. Em comparação, os resultados analisados pelo *benchmark* tradicional indicaram que cenários com padrões de pesos mais uniformes (padrão de pesos 2) foram resolvidos entre 52% e 71% das vezes com um número mínimo de $(N-1)$ perguntas, enquanto para os cenários que utilizaram o padrão de pesos 3, os resultados do *benchmark* de $(N-1)$ variaram entre 10% e 35%. Isto indica que para os padrões de pesos que apresentam uma boa performance no método FITradeoff, o mesmo consegue chegar a uma recomendação em mais da metade dos problemas com um número pequeno de perguntas, consideradas ainda mais simples que as perguntas a serem respondidas pelo procedimento do Tradeoff, já que, conforme explicado, o FITradeoff consegue tornar cognitivamente mais simples o processo decisório. Neste contexto, as principais vantagens do FITradeoff frente ao Tradeoff, indicadas por De Almeida et al. (2016) como sendo um processo mais simples e flexível, onde o número de perguntas feitas ao decisor é reduzida (já que o decisor não precisa indicar pontos exatos de indiferença), foram comprovadas.

Vale salientar que, dentre os parâmetros avaliados (número de critérios, número de alternativas, distribuição dos padrões de pesos), foi observado que, em relação à performance do FITradeoff frente ao número de perguntas a serem respondidas pelo decisor, a influência da distribuição dos pesos é maior que a influência do aumento no número de critérios, que por sua vez é maior que a influência do aumento no número de alternativas. Com isso, novamente, a importância da determinação das constantes de escala para uma boa performance do método FITradeoff fica evidente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo encerra a dissertação, apresentando conclusões sobre os resultados encontrados bem como sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O presente trabalho apresentou um projeto de um experimento com simulações numéricas para o método FITradeoff, com foco na análise de alguns fatores considerados de elevada importância para o desempenho do método.

O projeto do experimento teve como base a literatura existente, sendo decidido que um grande número de simulações possibilitaria uma análise detalhada de fatores como a distribuição de pesos, o aumento no número de critérios e de alternativas. Assim, projetou-se para a análise deste experimento problemas com: alternativas variando entre $M = \{5, 10, 15, 20, 30, 50, 70\}$; critérios variando entre $N = \{3, 4, 5, 7, 10, 15\}$; e padrões de pesos variando entre P1 (pesos iguais), P2 ($k_1 = 1,5 * k_N$), P3 ($k_1 = 4 * k_N$) e P4($k_1 = 10 * k_N$). Com isto, foi possível identificar o modo como o aumento no número de alternativas, critérios e distribuições de pesos afeta o desempenho do FITradeoff em relação ao número de perguntas que o processo demanda do decisor.

Através da aplicação deste experimento, foram encontrados resultados promissores, conforme descrito no tópico 4.6. Com os resultados apresentados, comprovou-se que o método é muito eficaz na redução do espaço de alternativas potencialmente ótimas, já que, após a etapa de ordenação das constantes de escala, de um modo geral, todos os problemas analisados tiveram no máximo 11 alternativas potencialmente ótimas. Também foram obtidos resultados positivos para os padrões de pesos mais uniformes, os quais, na maior parte dos casos, consegue encontrar uma solução com até $3*(N-1)$ perguntas. A influência dos pesos foi a mais significativa dentre as variáveis analisadas.

Em relação à influência que o aumento no número de alternativas ou critérios tem no número de perguntas a serem respondidas, demonstrou-se que, independente do padrão de peso analisado, o aumento no número de alternativas causa uma variação pouco significativa, o que condiz com o fato de que, em problemas com muitas alternativas, grande parte delas será dominada. A variação causada pelo aumento no número de critérios foi mais significativa, demonstrando que problemas com muitos critérios são, de fato, mais complexos.

Outro ponto de destaque, foi observado que para N critérios, o método consegue encontrar uma solução para a maior parte dos casos com até $3(N-1)$ perguntas, validando uma das vantagens do FITradeoff ao encontrar uma única solução com perguntas consideradas mais fáceis de serem respondidas que as do Tradeoff tradicional.

Conforme já mencionado, poucos são os estudos de decisão multicritério que lidam com simulações para análise dos modelos. Dentre estes estudos, o usual é realizar análises relativas à performance de pesos substitutos. Assim, percebe-se que este trabalho inovou ao usar simulações para analisar variáveis distintas (variação no número de alternativas, critérios e distribuições de pesos) e com isso estudar a performance do FITradeoff em relação ao número de perguntas respondidas pelo decisor.

Como limitações deste estudo, destaca-se a limitação computacional do software. O software utilizado limitou o número de simulações a 3.000 a cada iteração, ou seja, houve uma limitação de memória de software. Devido a esta limitação, cada cenário foi simulado 40 vezes, cada vez com 3.000 simulações, gerando um total de 14.400.000 simulações. O número de simulações a cada iteração nos demais trabalhos que fizeram uso de simulação (descritos na revisão bibliográfica) foi de 10.000 simulações, com um total de simulações variando entre 250.000 e 2.000.000 de simulações. Com isto, percebe-se que apesar da limitação de memória do software utilizado, o número de simulações totais realizadas foi maior do que o que é comumente encontrado na literatura.

Por fim, conclui-se que o objetivo principal desta pesquisa, analisar o desempenho do FITradeoff frente às variações no número de critérios, alternativas e distribuições de pesos, foi atingido, trazendo assim maior validação ao método, e preenchendo uma lacuna encontrada na literatura, em relação a estudos simulados com o FITradeoff.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A presente pesquisa teve como foco o método FITradeoff para a problemática de escolha, conforme proposta no trabalho de De Almeida et al. (2016) que deu origem ao método. Porém, com os avanços que surgiram, hoje existem também trabalhos que utilizam o FITradeoff para a problemática de ordenação, conforme descrito por Frej et al. (2019). Assim, seria interessante que o trabalho aqui desenvolvido fosse aplicado, futuramente, para a problemática de ordenação, onde outros fatores podem também ser analisados com maior profundidade, como por exemplo, as relações de dependência preferencial.

Outro ponto de interesse para trabalhos futuros seria realizar a comparação do método FITradeoff frente a outros métodos semelhantes, como: o método VIP Analysis, de Dias & Clímaco (2000) que apresenta um processo flexível e interativo, e foi um método pioneiro e promissor no uso de informações parciais (CAMPOS, DE ALMEIDA, 2006); o método MACBETH, de Bana e Costa et a. (2012), que traz a facilidade de um processo que usa escalas semânticas aliado a uma elicitação estruturada e tem sido muito difundido pelo software M-MACBETH; e o método PRIME, de Salo & Hamalainen (2001), que, semelhante ao FITradeoff, trabalha com um processo flexível e interativo, e elicitação estruturada. Esta comparação poderia ser feita através de simulações, analisando como os métodos apresentados se comportariam frente aos fatores discutidos nesta pesquisa, e qual o posicionamento do FITradeoff em relação a eles.

REFERÊNCIAS

- AHN, Byeong Seok. PARK, Kyung Sam. Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights. *Computers & Operations Research*, 35 1660 – 1670, 2008.
- ATHANASSOPOULOS, A.D., PODINOVSKI, V.V. dominance and potential optimality in multiple criteria decision analysis with imprecise information. *Journal of the Operational Research Society*, 48, 142–150, 1997.
- BANA E COSTA, C. A., VANSNICK, J.-C. MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions. *International Transactions in Operational Research*, v. 1, n. 4, p. 489–500, 1994.
- BANA E COSTA, C. A., DE CORTE, J.-M., VANSNICK, J.-C. Macbeth. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 11, n. 02, p. 359– 387, 2012.
- BARRON, F. Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attribute weights. *Acta Psychologica*, v. 80, n. 1–3, p. 91–103, 1992.
- BARRON, F. HUTTON. BARRETT, BRUCE E. Decision quality using ranked attribute weights. *Management Science*, 42(11):1515-1523, 1996.
- BELTON, V.; STEWART, T. *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer: Science & Business Media, 2002.
- BORCHERDING, K., EPEL, T., VON WINTERFELDT, D. Comparison of weighting judgments in multiattribute utility measurement. *Management Science*, Vol. 37, N° 12, 1991.
- BUTLER, John. JIA, Jianmin. DYER, James. Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. *European Journal of Operational Research*, 103 531-546, 1997.
- CAMPOS, V. R., DE ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de decisão para localização de nova jaguaribara com vip analysis. *Pesquisa Operacional [online]*. vol.26, n.1, pp.91-107, 2006. ISSN 0101-7438. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382006000100005>.
- CHAVES, M C C, RAMOS, T.G., BARROS, T. D., SOARES DE MELLO, J.C.C. B. Uso integrado de dois métodos de apoio à decisão multicritério: VIP Analysis e MACBETH. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 2, p. 89-99, 2010.
- DANIELSON, M. EKENBERG, L. The CAR method for using preference strength in multi-criteria decision making. *Group Decision and Negotiation*, 25: 775. <https://doi.org/10.1007/s10726-015-9460-8>, 2016.
- DIAS, L.C., CLÍMACO, J.N. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. *Journal of Operational Research Society*, 51(9), 1070-1082, 2000.
- DIAS, L.C., CLÍMACO, J.N. Dealing with Imprecise Information in Group Multicriteria Decisions: a Methodology and a GDSS Architecture. *European Journal of Operational Research*, 160, 291-307, 2005.
- DE ALMEIDA, A. **Processo de Decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013

DE ALMEIDA, A.T.; CAVALCANTE, C.A.V.; ALENCAR, M.H.; FERREIRA, R.J.P.; DE ALMEIDA-FILHO, A.T.; GARCEZ, T.V. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science. Vol 231. New York: Springer, 2015.

DE ALMEIDA A. T., ALMEIDA J. A., COSTA, A. P. C. S., ALMEIDA-FILHO, A. T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250, 179–191., 2016

DE ALMEIDA-FILHO, A.T., DE ALMEIDA, A.T., COSTA, A.P.C.S. A flexible elicitation procedure for additive model scale constants. *Annals of Operations Research*, 259 (1-2), pp. 65-83, 2017

DE GUSMÃO, A. P. H., MEDEIROS, C. P. A model for selecting a strategic information system using the FITradeoff. *Hindawi Publishing, Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

DE MACEDO P.P, DE MIRANDA MOTA, C. M., SOLA, A. V. H, Meeting the brazilian energy efficiency law: a flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. *Sustainable Cities and Society*, 2018.

DELL'OVO, M., FREJ, E. A., OPPIO, A., CAPOLONGO, S., MORAIS, D. C., DE ALMEIDA, A., T. *Multicriteria Decision Making for Healthcare Facilities Location with Visualization Based on FITradeoff Method*. Decision Support Systems VII: Data, Information And Knowledge Visualization In Decision Support Systems. Série de livros: Lecture Notes in Business Information Processing, Volume: 282 Páginas: 32-44. Publicado: 2017

EDWARDS, W.; BARRON, F.H. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational behavior and human decision processes*, 60(3): 306-325, 1994.

ENNACEUR, A., ELOUEDI, Z., LEFEVRE, E. Handling Partial Preferences in the Belief AHP Method: Application to Life Cycle Assessment. Lecture Notes in Computer Science, 395–400, 2011. doi:10.1007/978-3-642-23954-0_37

FREJ, E. A., ROSELLI, L. R. P., DE ALMEIDA, J. A., DE ALMEIDA, A. T. A multicriteria decision model for supplier selection in a food industry based on FITradeoff method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017

FREJ, E. A., DE ALMEIDA, A. T., ROSELLI, L. R. P. Solving multicriteria group decision-making (MCGDM) problems based on ranking with partial information. Lecture Notes in Business Information Processing Volume 351, Pages 3-16 19th International Conference on Group Decision and Negotiation, GDN 2019; Loughborough; United Kingdom; 2019.

GENTLE, J. E. Random Number Generation and Monte Carlo Methods. Springer, Estados Unidos, 2003.

JAYNES, EDWIN T. Probability Theory: The Logic of Science. St. Louis: Washington University, fragmentary edition of March 1996. Disponível em <https://omega0.xyz/omega8008/JaynesBook.html>, acesso em setembro de 2019.

KADZINSKIA, M., GHADERIB, M., WASIKOWSKIA, J., AGELL, N. Expressiveness and robustness measures for the evaluation of an additive value function in multiple criteria preference disaggregation methods: an experimental analysis. *Computers and Operations*

Research, v. 87, n. 7, p. 146–164, 2017

KANG T. A. H, SOARES JÚNIOR, A. D. C., DE ALMEIDA A. T., Evaluating electric power generation technologies: a multicriteria analysis based on the FITradeoff method. *Energy*, 2018

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decision Analysis With Multiple Conflicting Objectives*. Wiley & Sons, New York, 1976.

KIRKWOOD, C.W.; SARIN, R.K. Ranking with partial information: a method and an application. *Operations Research*, 33(1): 38-48, 1985.

LARSSON, A., RIABACKE, M., DANIELSON, M., EKENBERG, L. Cardinal and rank ordering of criteria - addressing prescription within weight elicitation. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 14, No. 06, pp. 1299-1330, 2015

LIMA, E. S., VIEGAS, R. A., COSTA, A. P. C. S. A multicriteria method based approach to the bpm selection problem. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Banff Center, Banff, Canada, October 5-8, 2017

L'ECUYER, P., Random Numbers, Int. Encyc. Social and Behavioral Sciences, 4 June, 2001.

MÁRMOL, A.M.; PUERTO, J.; FERNÁNDEZ, F.R. Sequential incorporation of imprecise information in multiple criteria decision processes. *European Journal of Operational Research*, 137(1): 123-133, 2002.

MUSTAJOKI, J.; HÄMÄLÄINEN, R.P.; SALO, A. decision support by interval SMART/SWING - Incorporating imprecision in the SMART and SWING methods. *Decision Sciences*, 36(2): 317-339, 2005.

PALHA, R. P., Negotiation throughout flexible and interactive tradeoffs applied to construction procurement. *Automation in Construction*, 99 39–51, 2019.

PUNKKA, A., SALO, A. Preference programming with incomplete ordinal information. *European Journal of Operational Research*, 231(1), 141–150., 2013

ROBERTS, Ron. GOODWIN, Paul. Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Anal. 11: 291–303, 2002

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. *Operational Research*, v. 19, p. 1-21, 2019

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Berlin, Heidelberg, Springer Science & Business Media, 293p, 1996.

SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.

SALO, A.A.; HÄMÄLÄINEN, R.P. Preference assessment by imprecise ratio statements. *Operations Research*, 40(6): 1053-1061, 1992.

SALO, A. A.; HAMALAINEN, R. P. Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME) - Elicitation and decision procedures under incomplete information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 31(6): 533-545, 2001.

SALO, A.; PUNKKA, A. Rank inclusion in criteria hierarchies. *European Journal of Operational Research*, 163(2): 338-356, 2005.

SARABANDO, Paula. DIAS, Luís Cândido. (2009). Multiattribute choice with ordinal information: a comparison of different decision rules. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans*, VOL. 39, NO. 3, 2009

SHUKLA, S. A Fitradeoff approach for assessment and understanding of patient adherence behavior. *Value In Health*. 20 A1 – A 383, 2017

SPLIET, R., TERVONEN, T. Preference inference with general additive value models and holistic pair-wise statements. *European Journal of Operational Research*. 232 607–612., 2014

THOMOPOULOS, N. T. Essentials of Monte Carlo Simulation: Statistical Methods for Building Simulation Models. Springer, 2013.

WEBER, M. A method of multiattribute decision making with incomplete information. *Management Science*, 31(11):1365-1371, 1985

WEBER, M. Decision making with incomplete information. *European Journal of Operational Research*, 28(1): 44-57, 1987.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, 67(1): 1-12, 1993.

WHITE, C.C.; HOLLOWAY, H.A. Resolvability for imprecise multiattribute alternative selection. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 38(1): 162-169, 2008

ZAVADSKAS, E. K., TURSKIS, Z. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 2011.

ZHENG, J., LIENERT, J. Stakeholder interviews with two MAVT preference elicitation philosophies in a swiss water infrastructure decision: aggregation using SWING - weighting and disaggregation using UTA. *European Journal of Operational Research*. 0 0 0 1–15., 2017.

APÊNDICE A - QUANTIDADE DE CASOS RESOLVIDOS PELO FITRADEOFF NA FASE DE ORDENAÇÃO

Este apêndice apresenta os resultados exaustivos de cada cenário simulado frente à pergunta: com que percentual de casos o FITradeoff consegue chegar a uma recomendação apenas com as informações obtidas na fase de ordenação das constantes de escala?

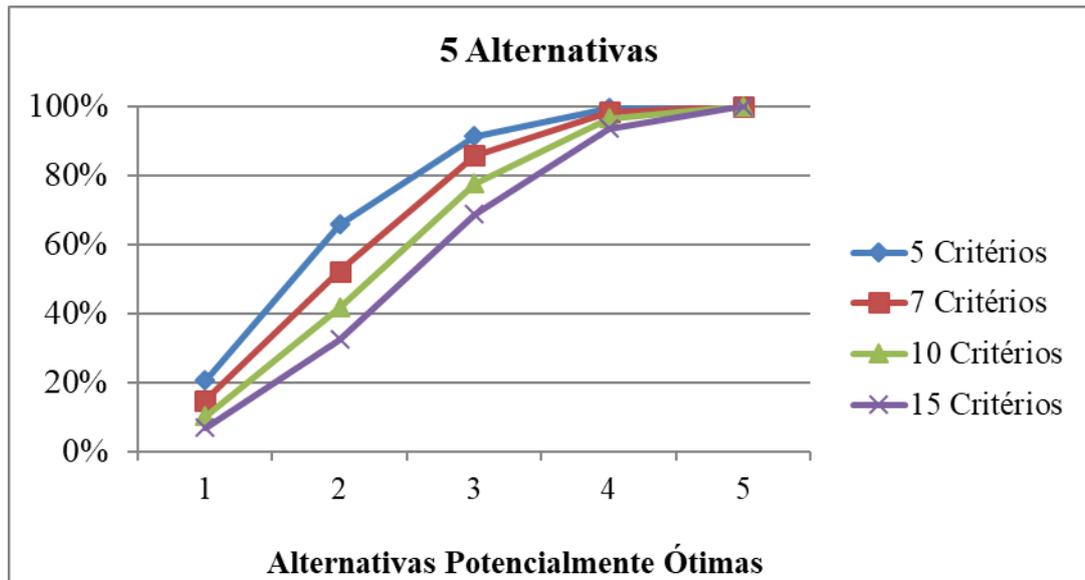


Figura A1.1 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 5 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

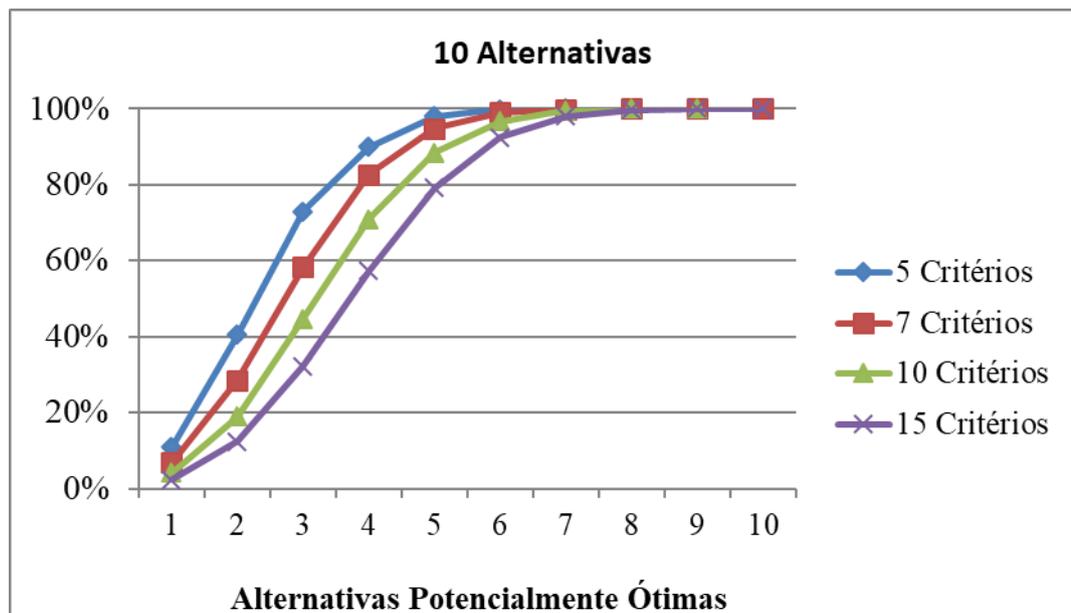


Figura A1.2 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 10 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

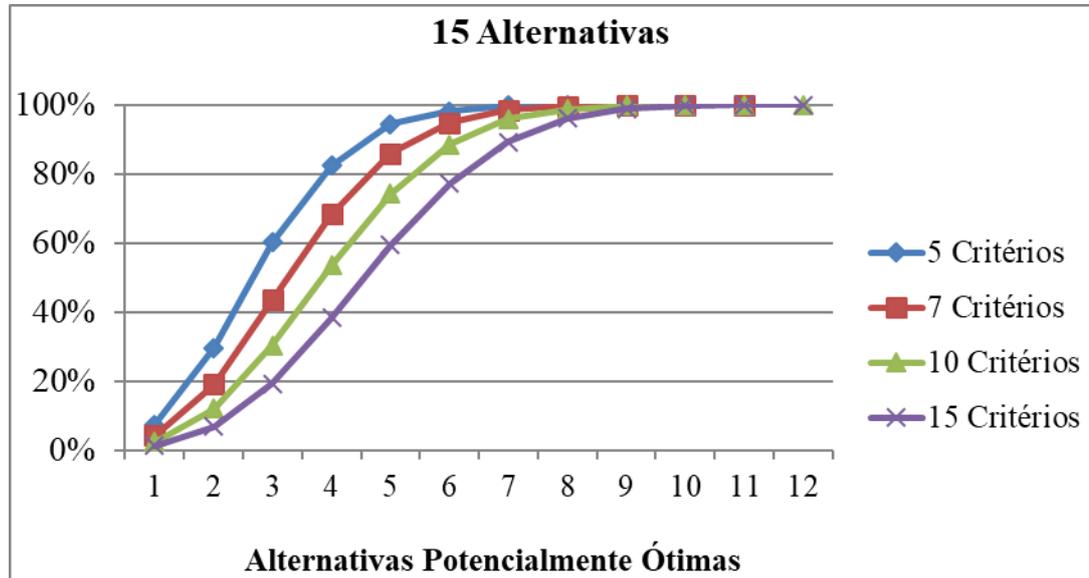


Figura A1.3 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

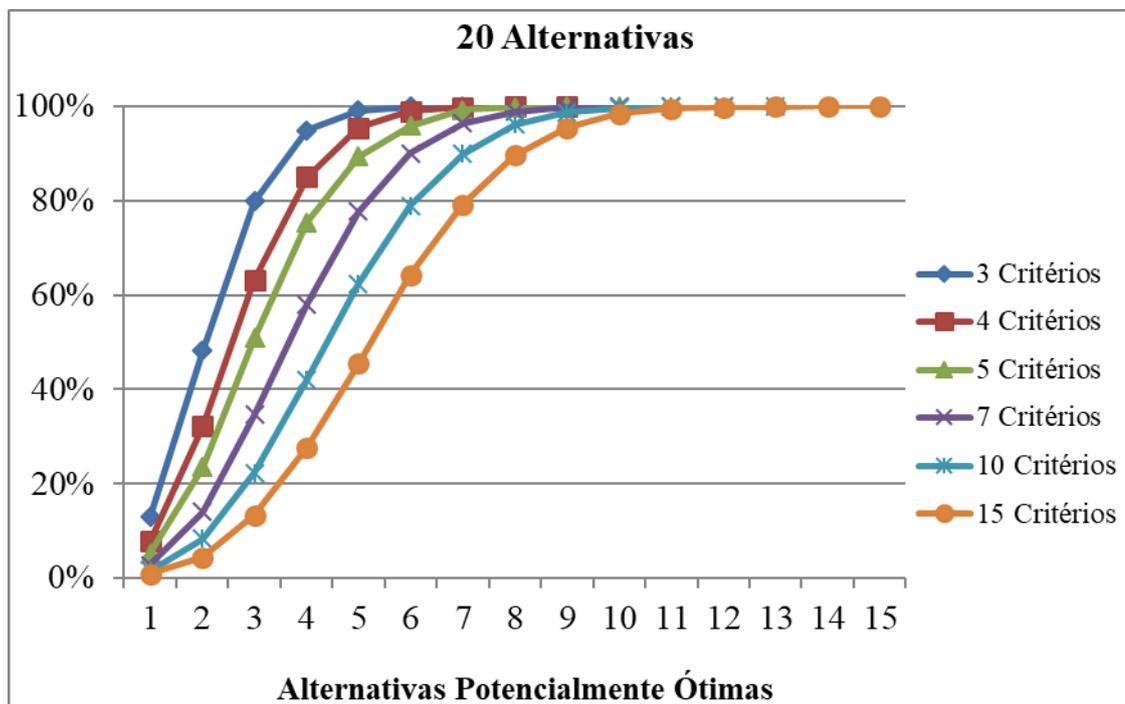


Figura A1.4 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

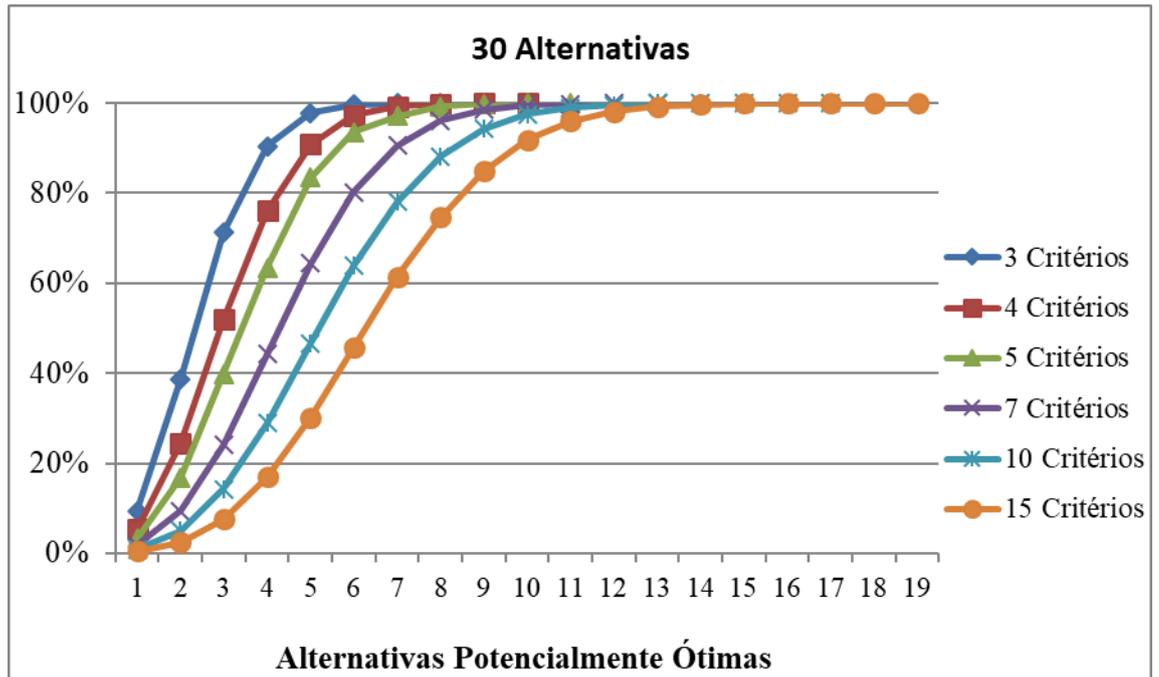


Figura A1.5 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

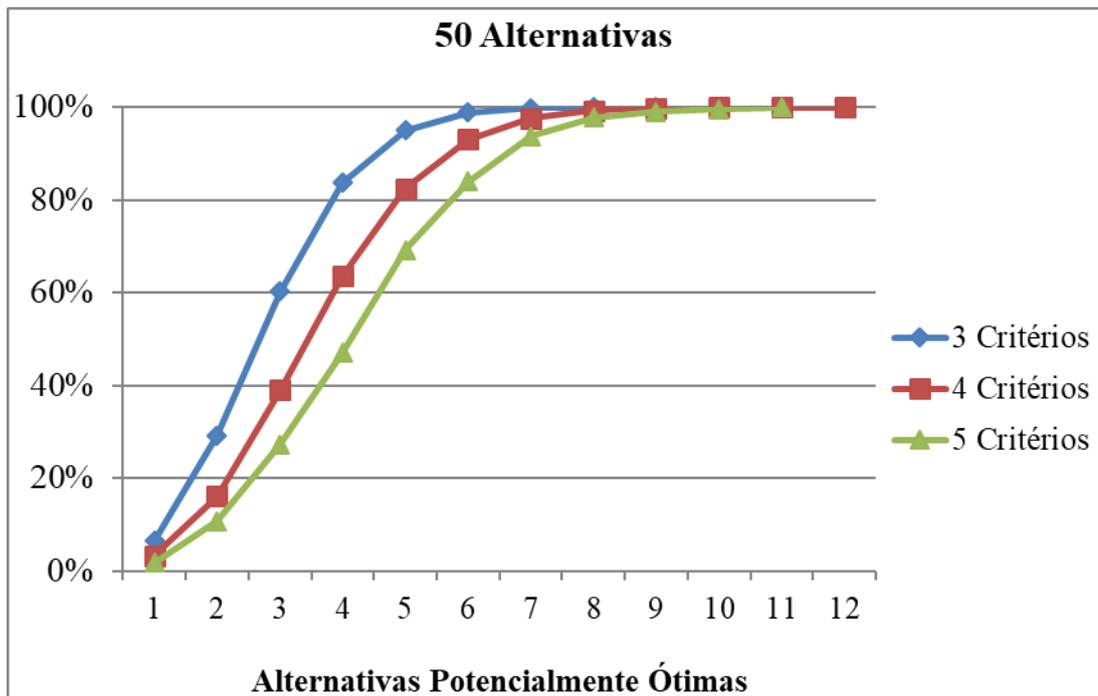


Figura A1.6 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 50 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

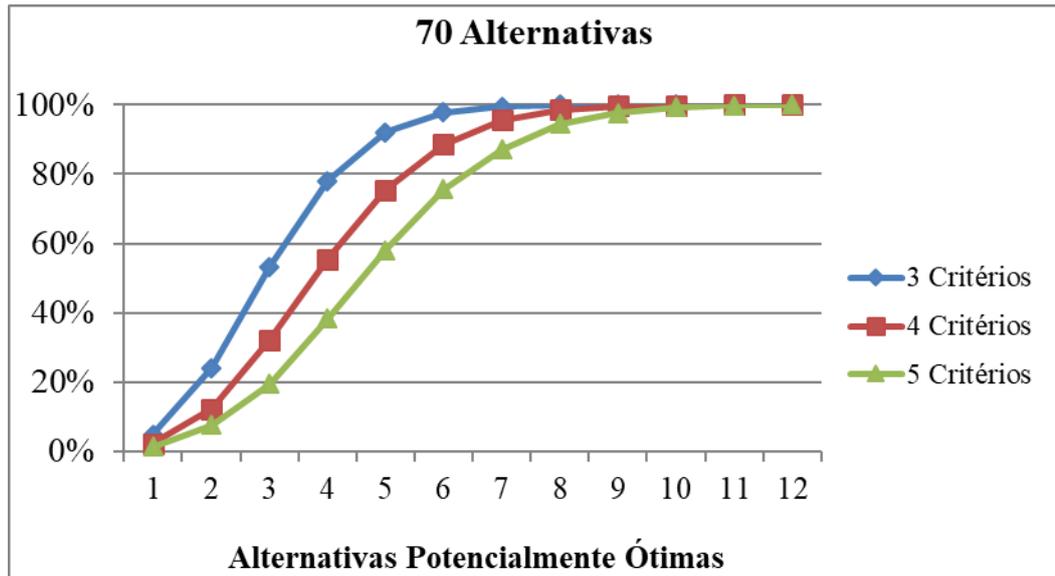


Figura A1.7 – Gráfico dos resultados relativos à etapa de ordenação das constantes de escala de um problema com 70 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

APÊNDICE B – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PADRÕES DE PESOS

Este apêndice apresenta os resultados exaustivos de cada cenário simulado frente à pergunta: como a forma da distribuição dos valores das constantes de escala (padrões de pesos) afeta a quantidade de perguntas feitas pelo FITradeoff?

Nas figuras A2.1 a A2.30, as porcentagens de cor azul referem-se ao Padrão de pesos 2, as de cor vermelha referem-se ao Padrão de pesos 3 e as de cor verde referem-se ao Padrão de pesos 4. As porcentagens de cor preta representam porcentagens comuns ao Padrão de pesos 3 e 4. Por fim, as porcentagens de cor preta em negrito representam porcentagens comuns aos 3 padrões de pesos analisados.

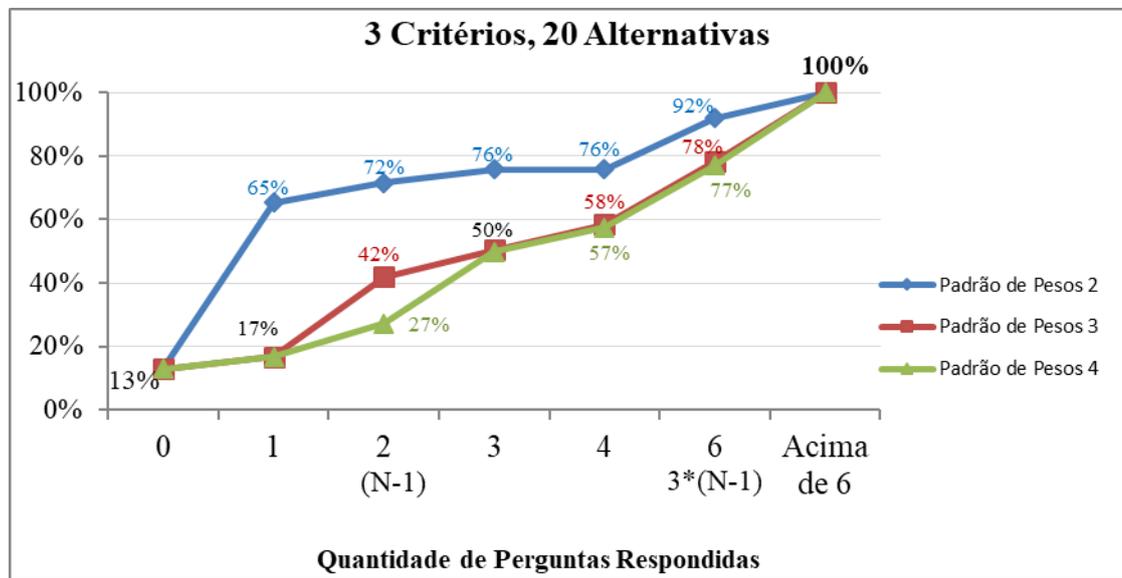


Figura A2.1 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 3 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

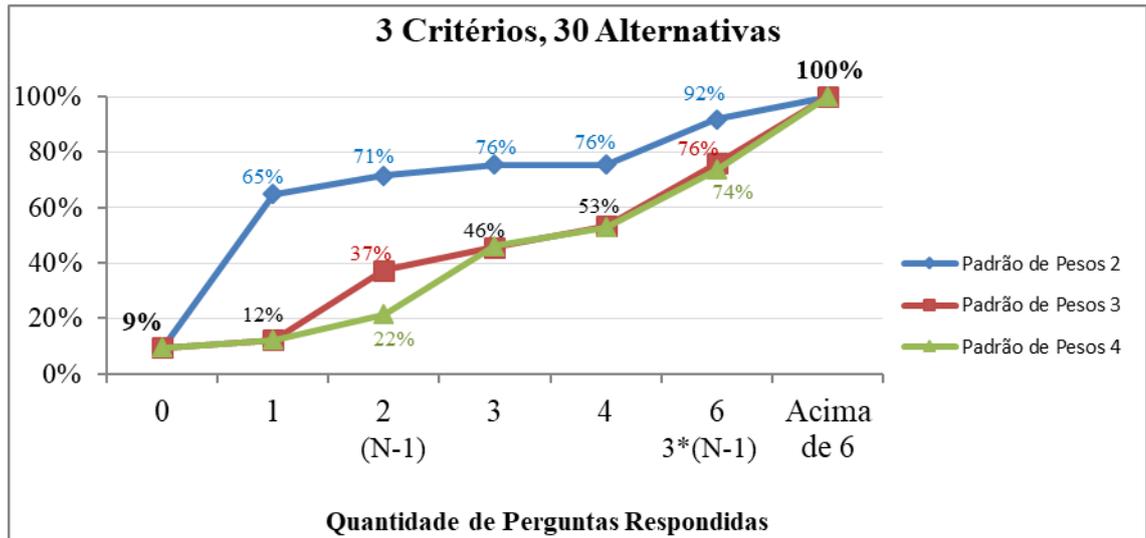


Figura A2.2 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 3 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

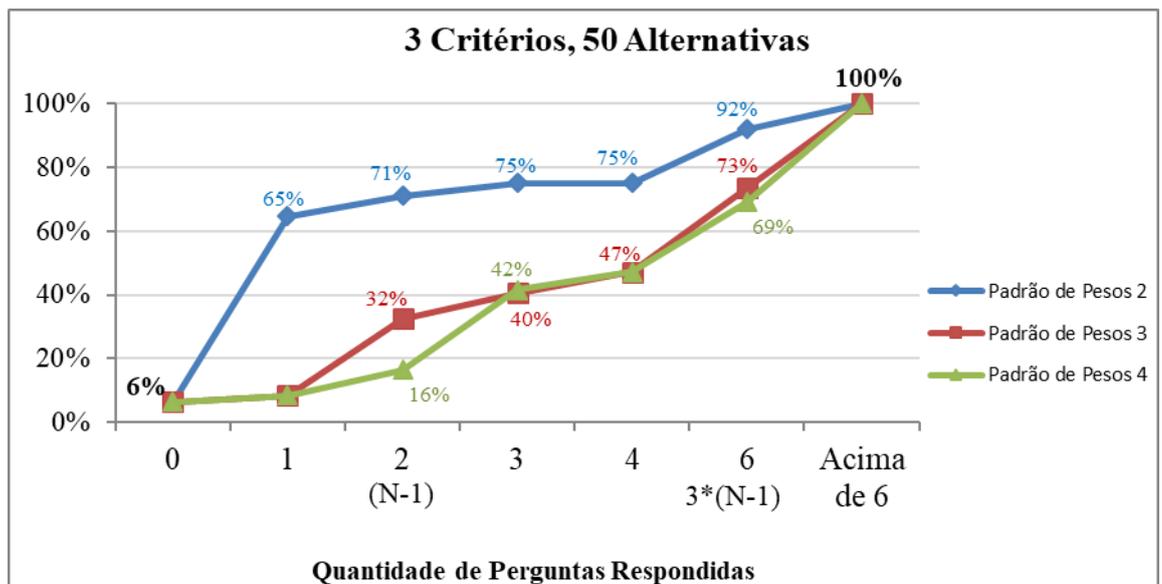


Figura A2.3 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 3 critérios e 50 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

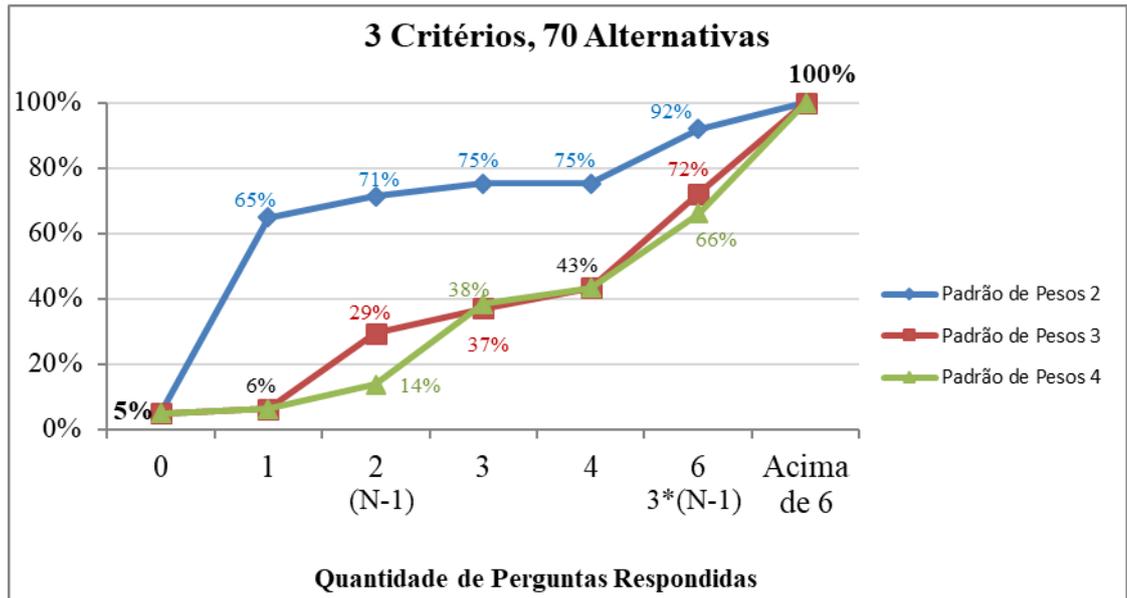


Figura A2.4 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 3 critérios e 70 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

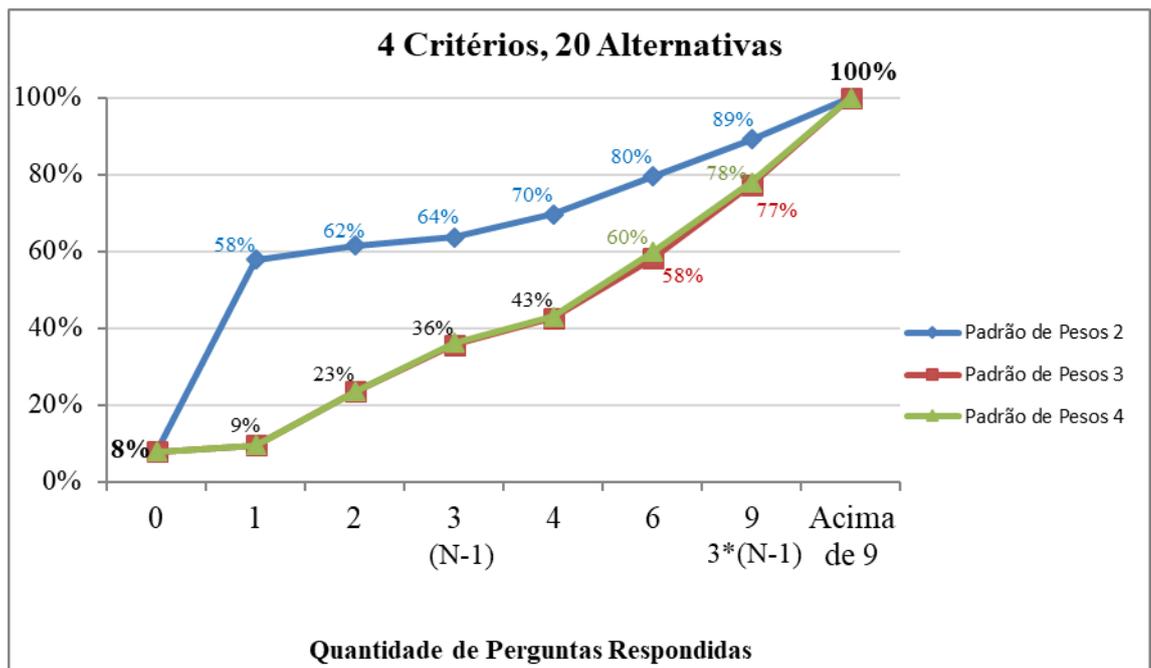


Figura A2.5 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 4 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

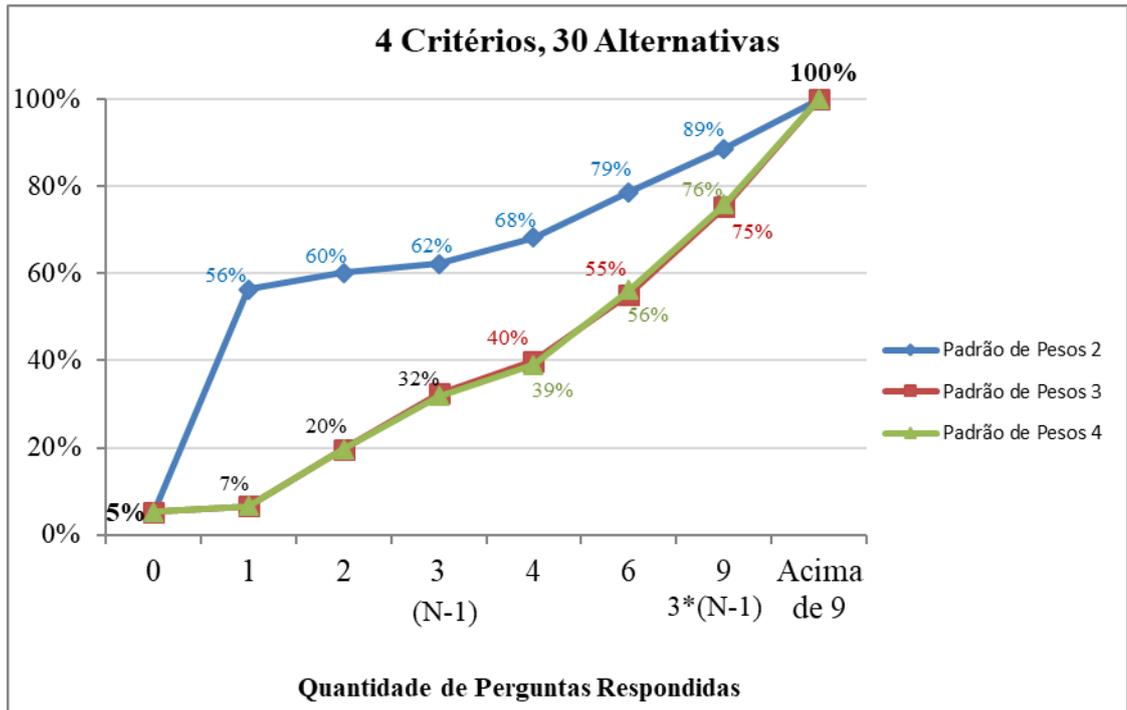


Figura A2.6 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 4 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

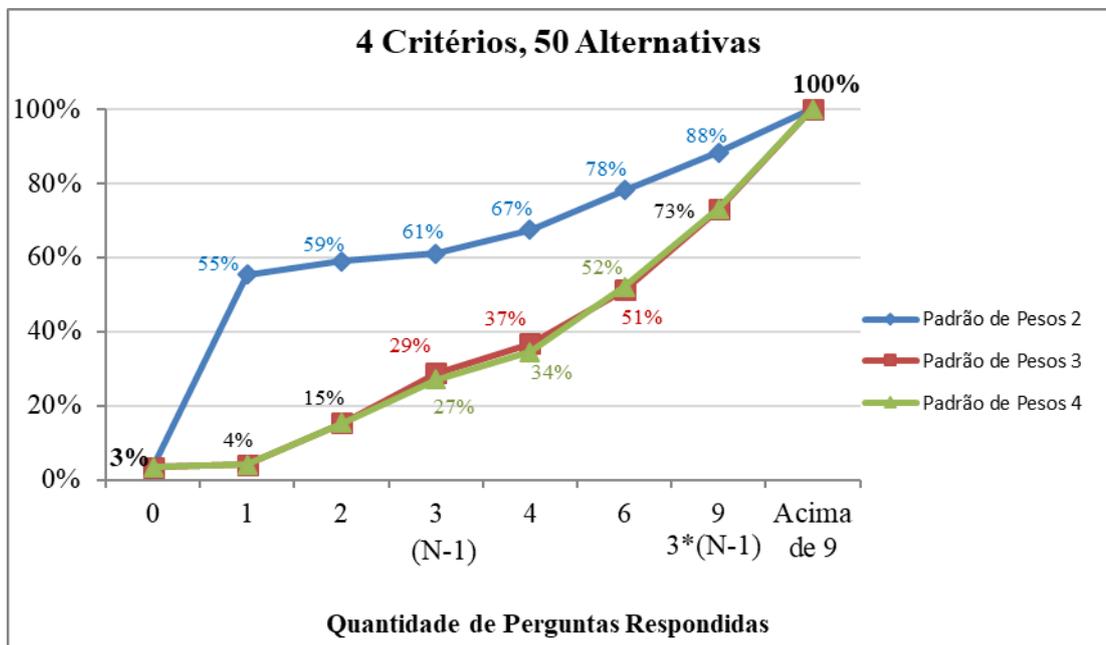


Figura A2.7 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 4 critérios e 50 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

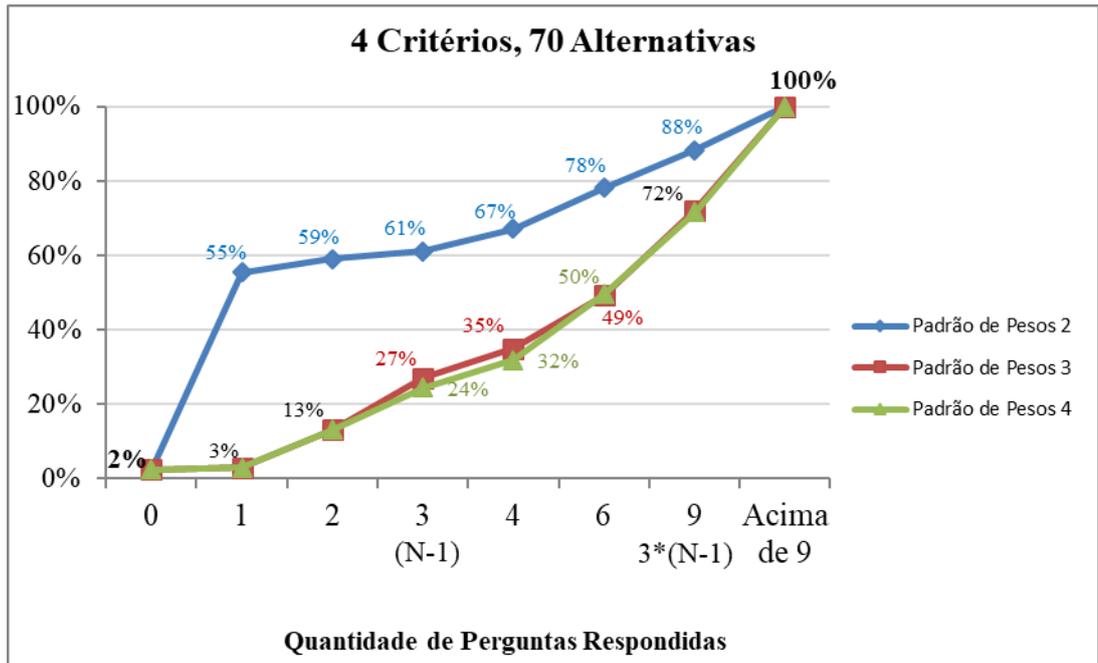


Figura A2.8 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 4 critérios e 70 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

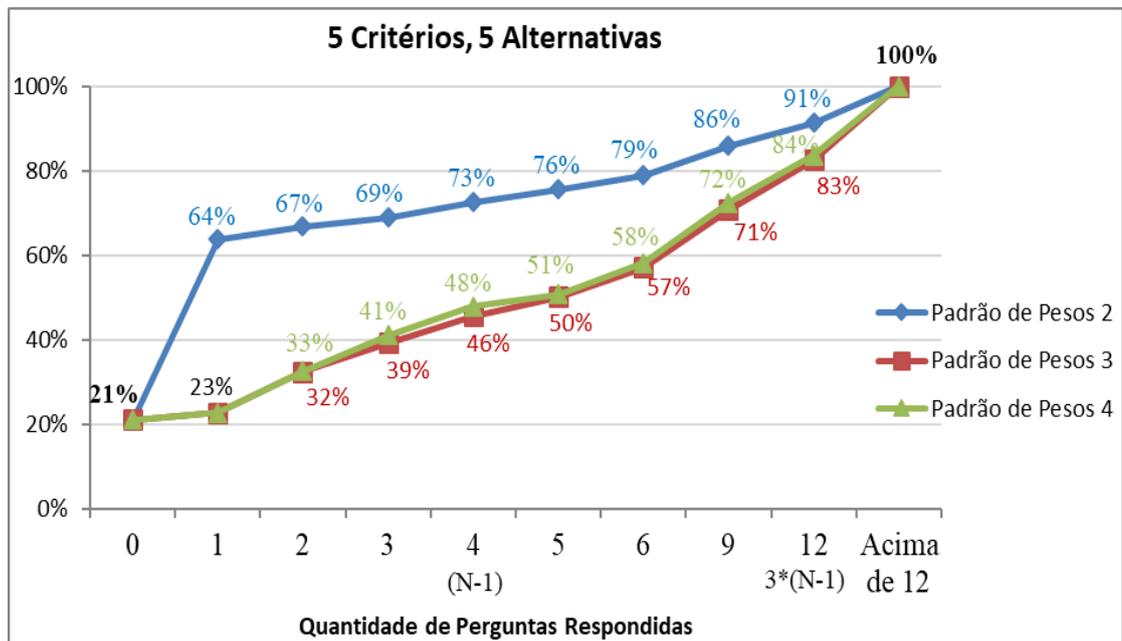


Figura A2.9 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 5 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

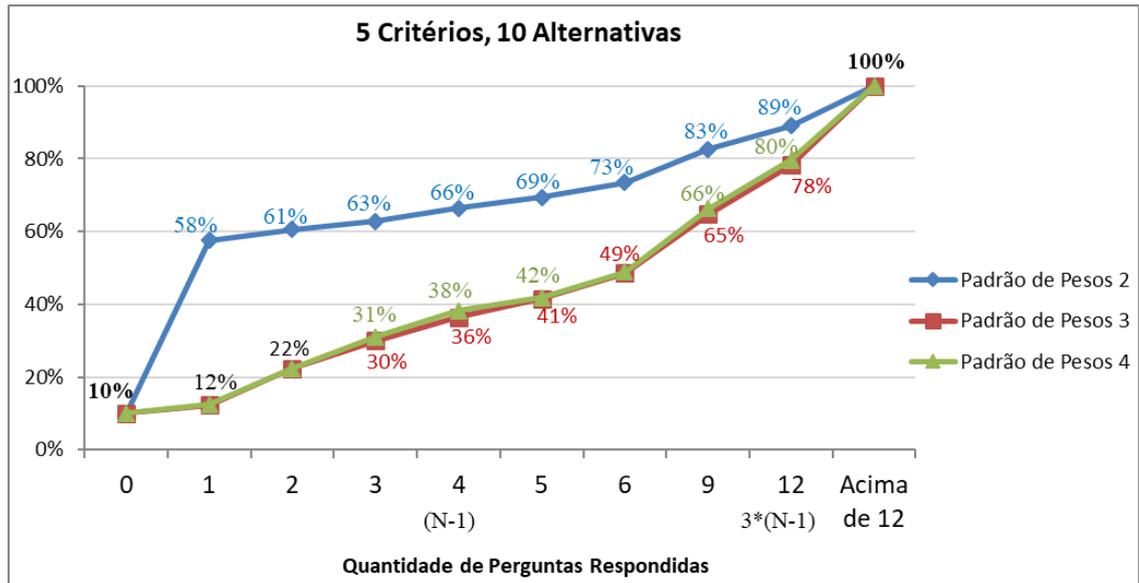


Figura A2.10 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 10 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

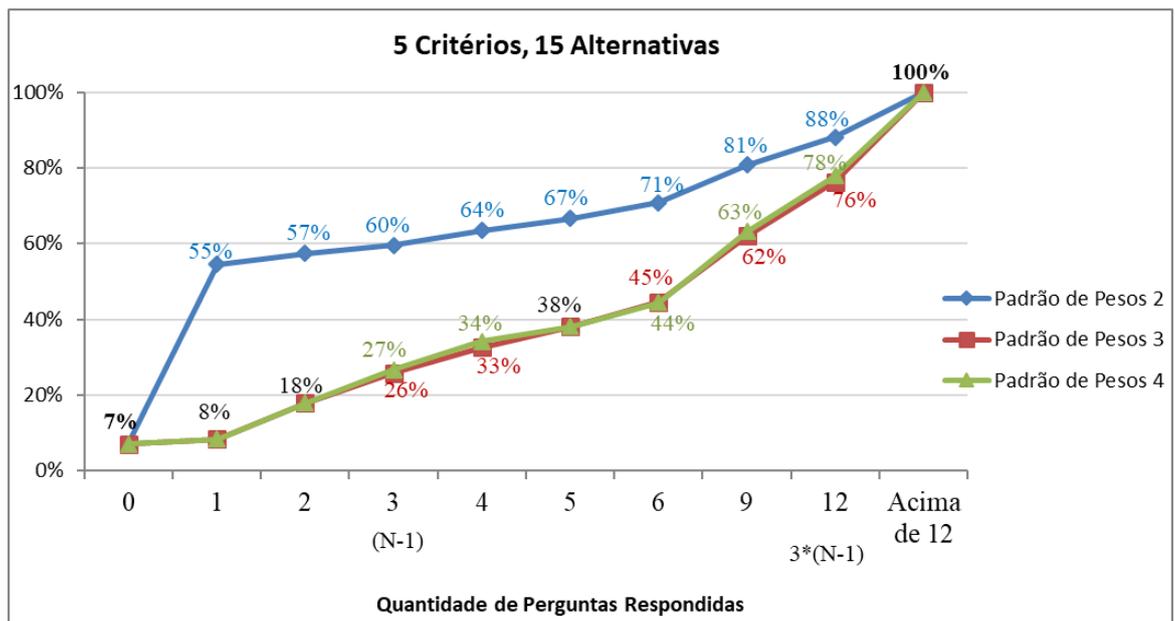


Figura A2.11 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

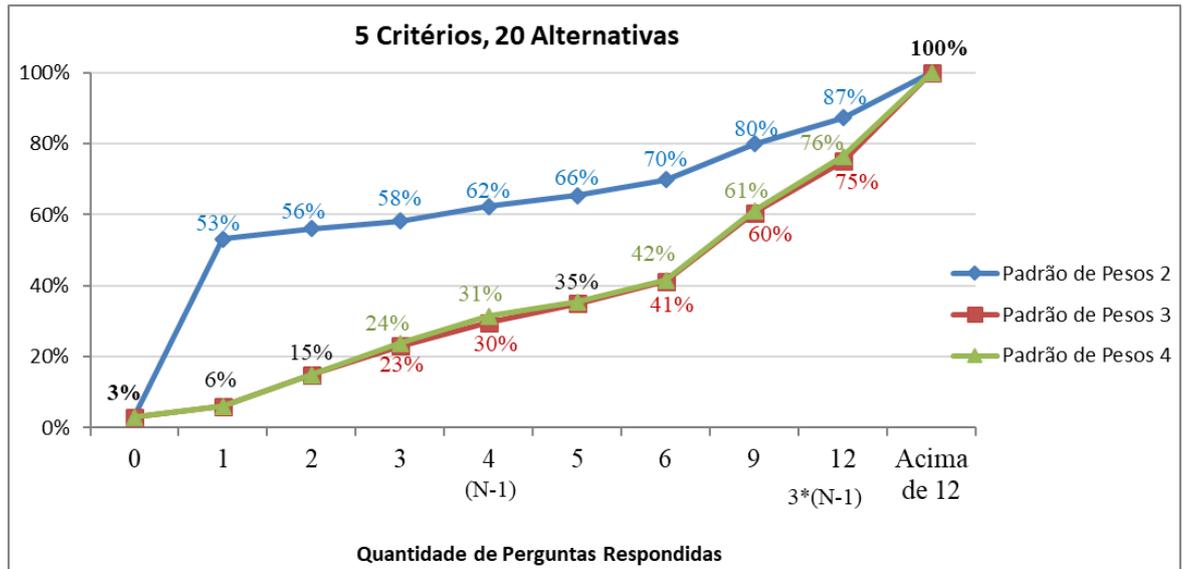


Figura A2.12 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

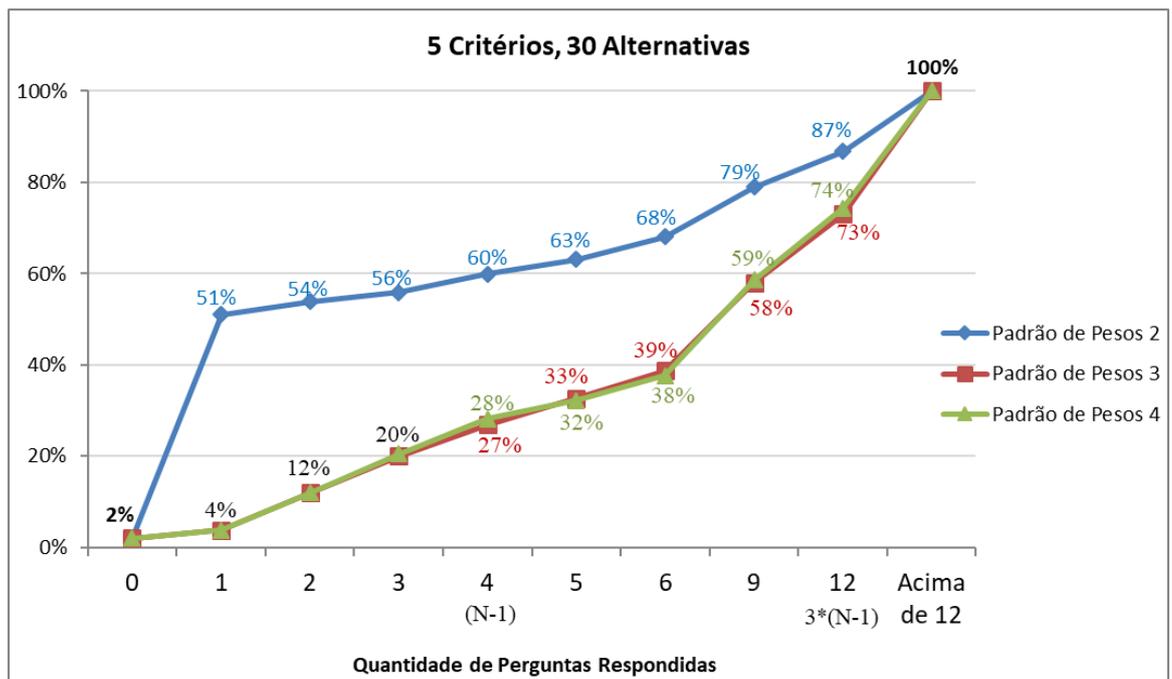


Figura A2.13 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

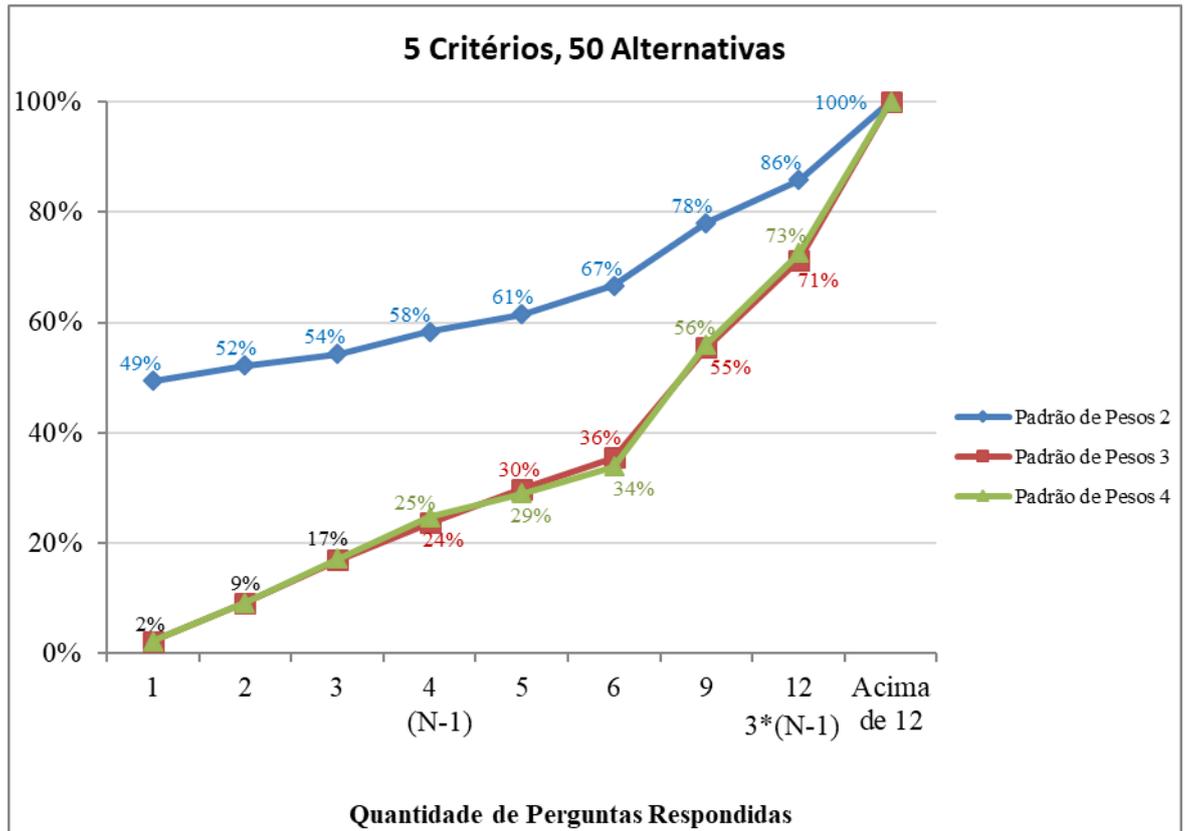


Figura A2.14 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 50 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

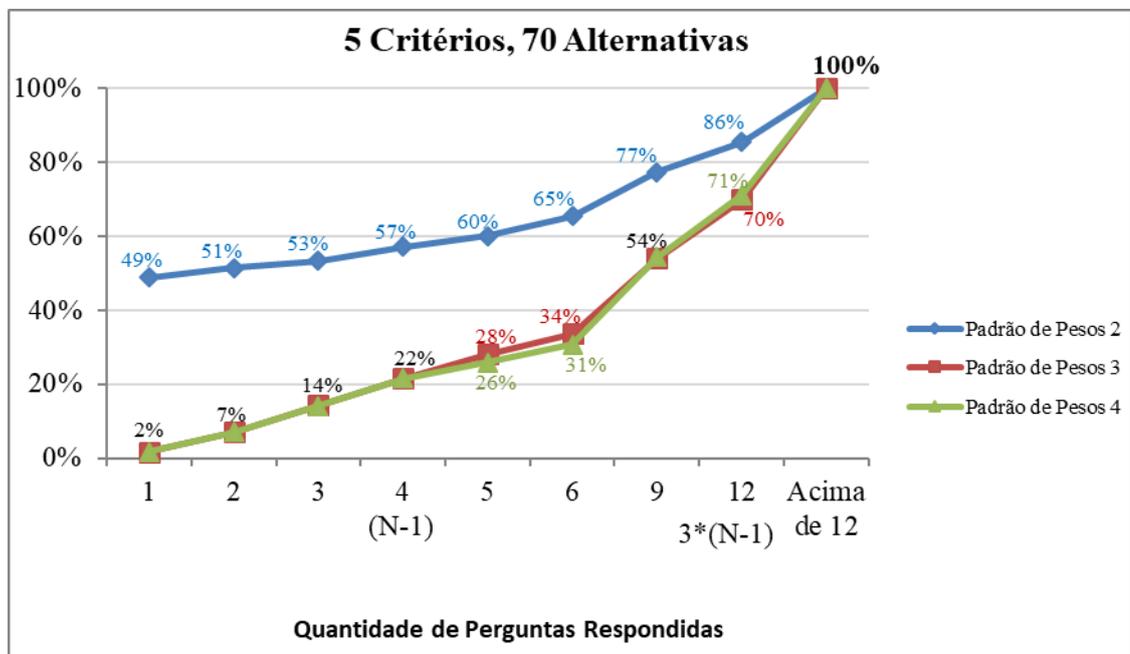


Figura A2.15 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 5 critérios e 70 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

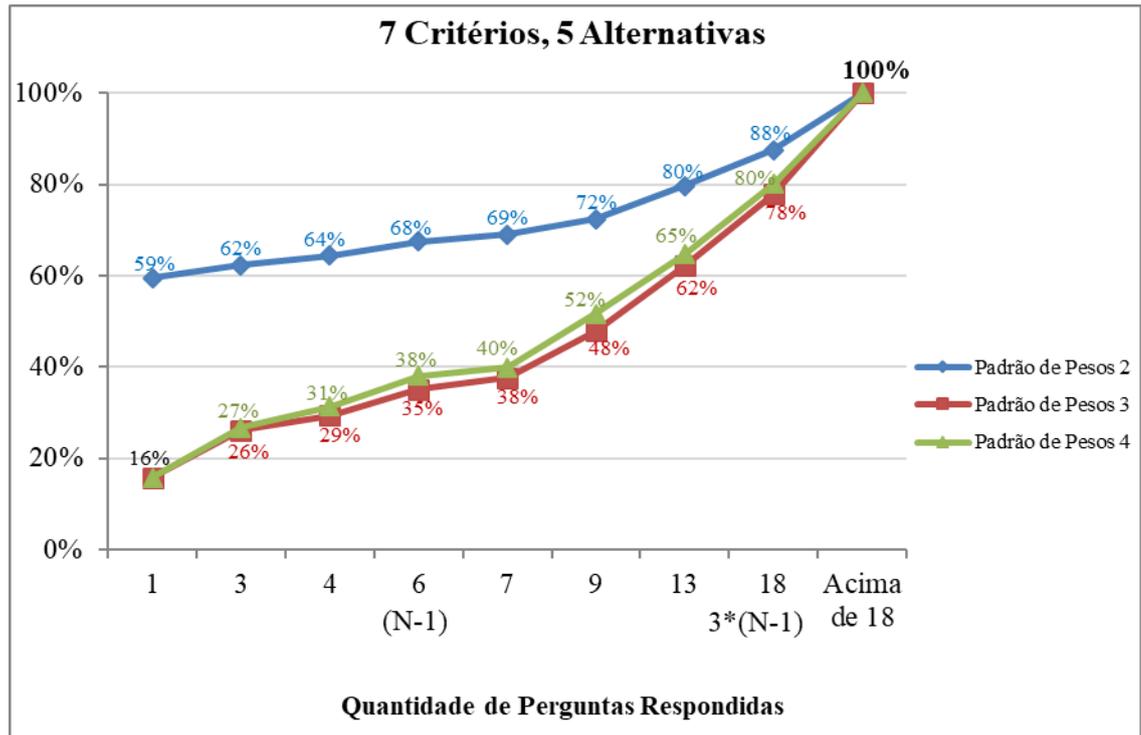


Figura A2.16 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 7 critérios e 5 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

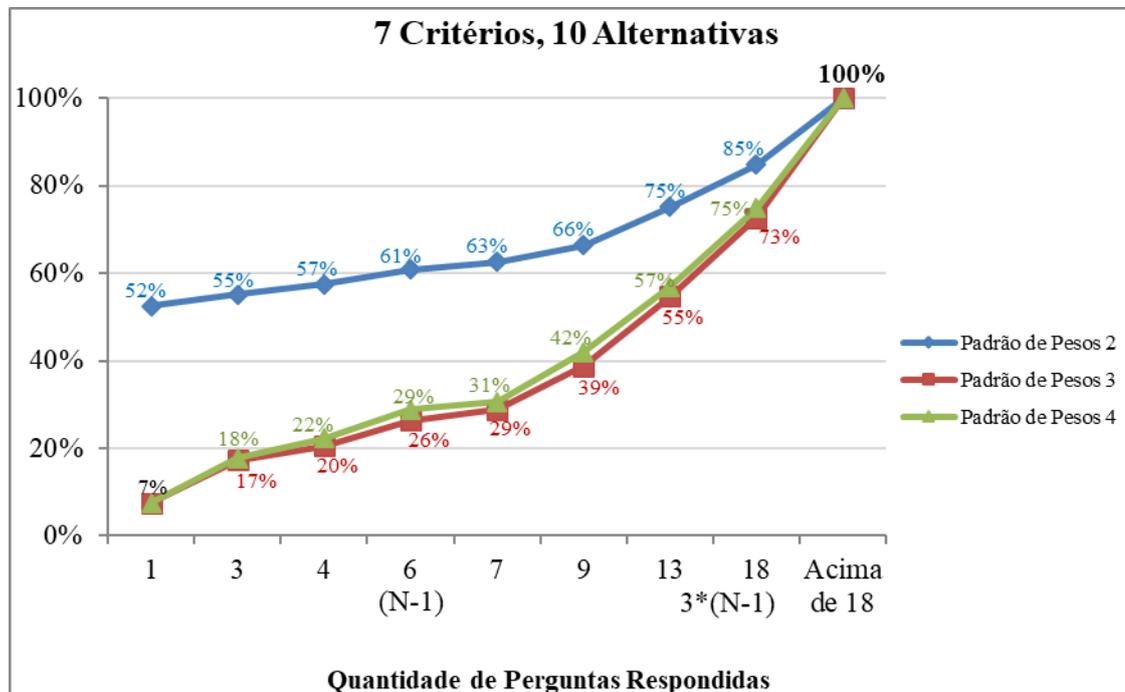


Figura A2.17 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 7 critérios e 10 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

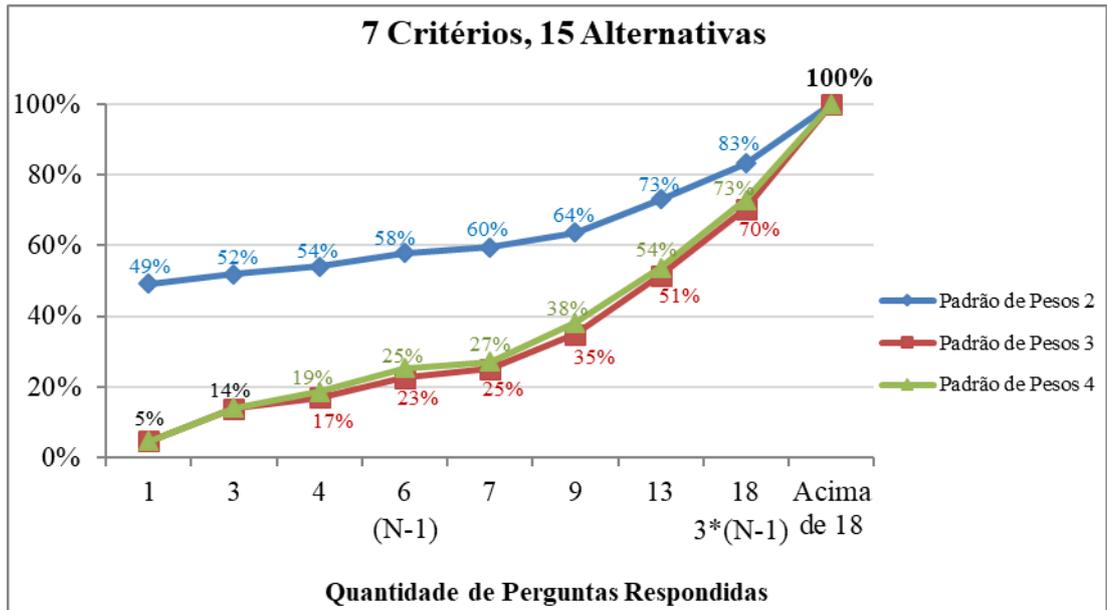


Figura A2.18 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 7 critérios e 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

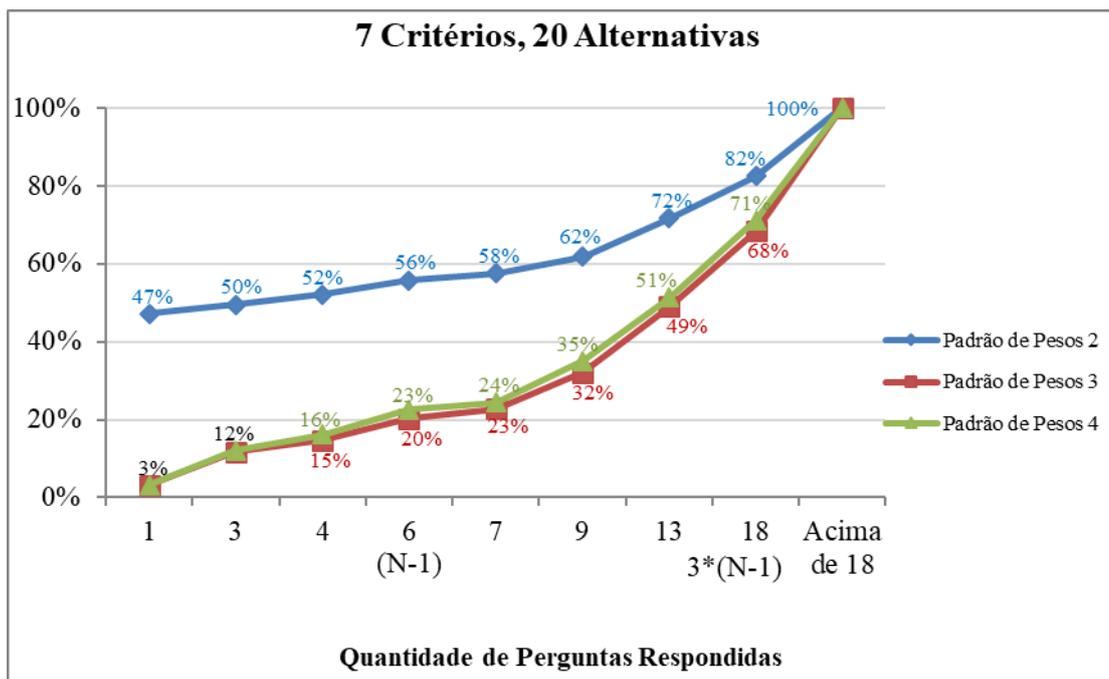


Figura A2.19 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 7 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

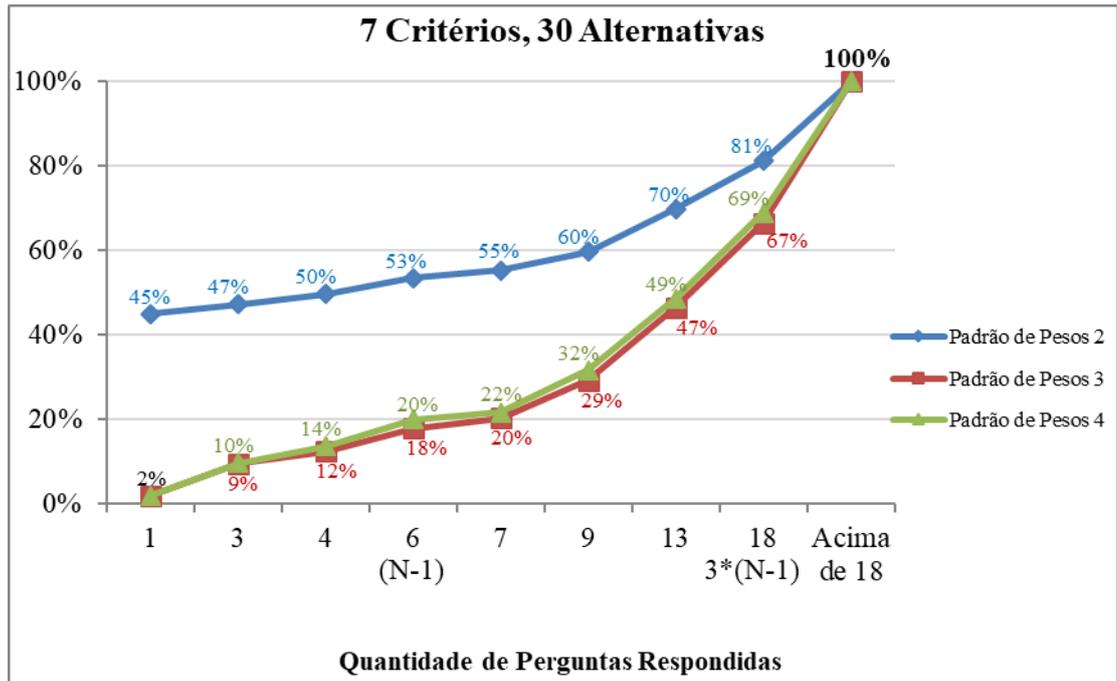


Figura A2.20 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 7 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

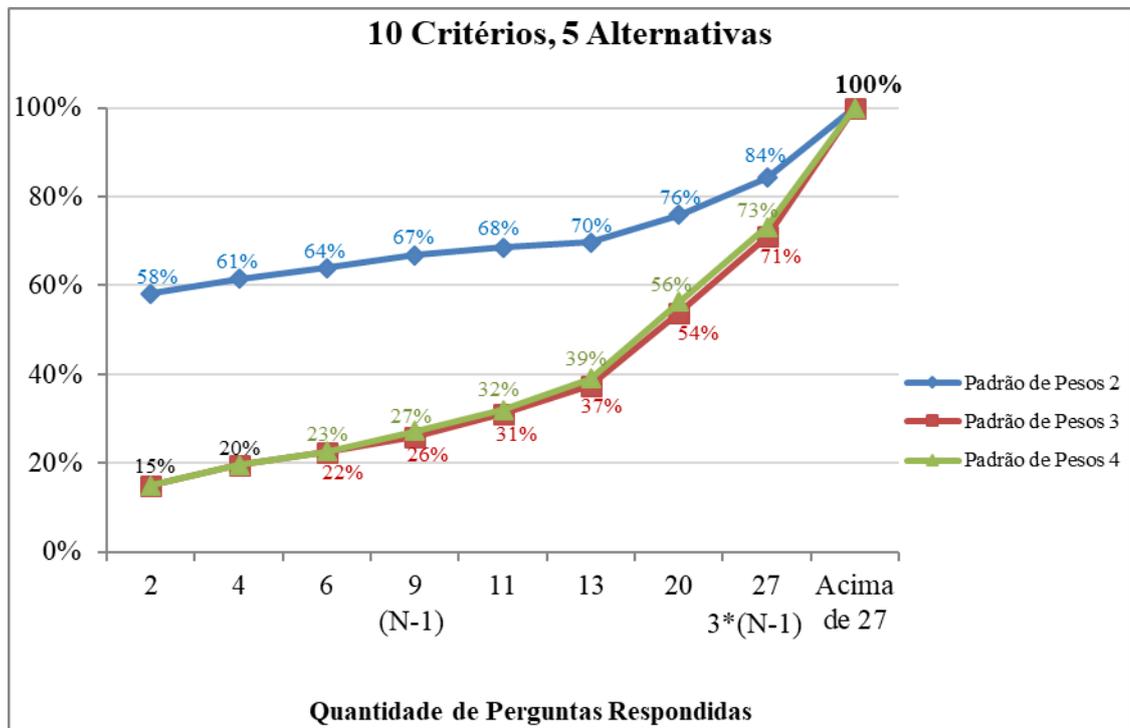


Figura A2.21 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 10 critérios e 5 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

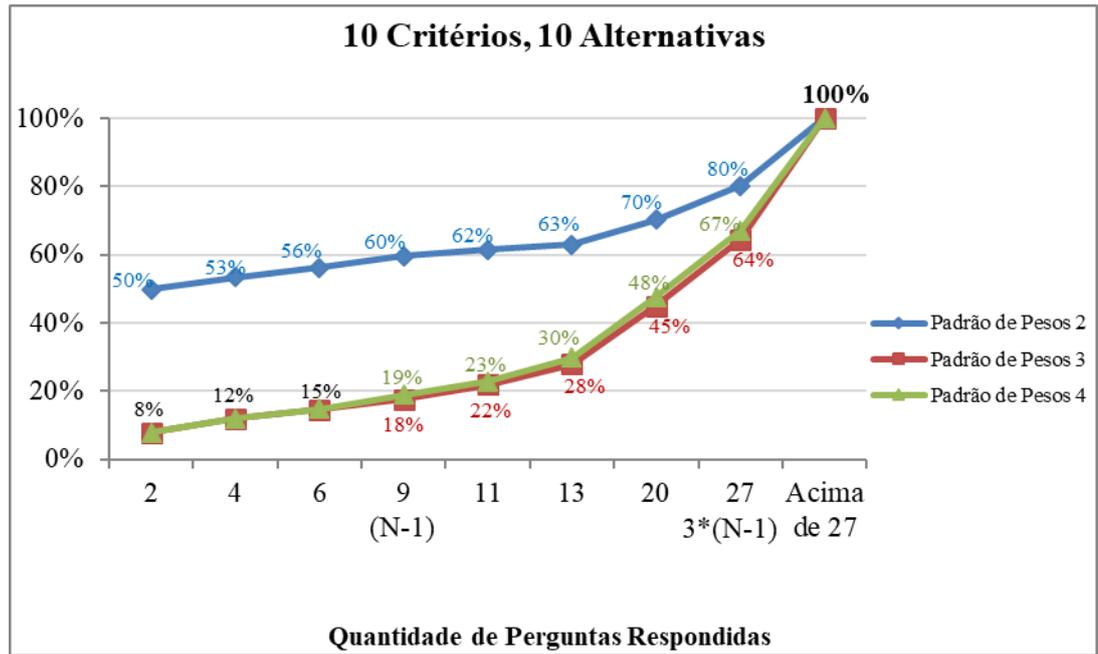


Figura A2.22 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 10 critérios e 10 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

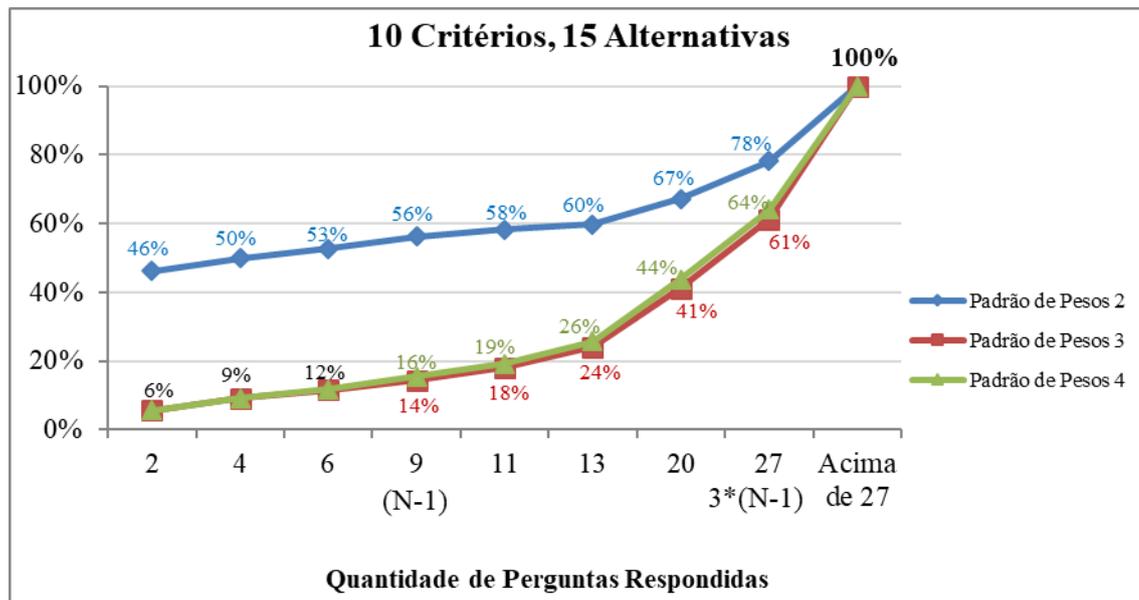


Figura A2.23 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 10 critérios e 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

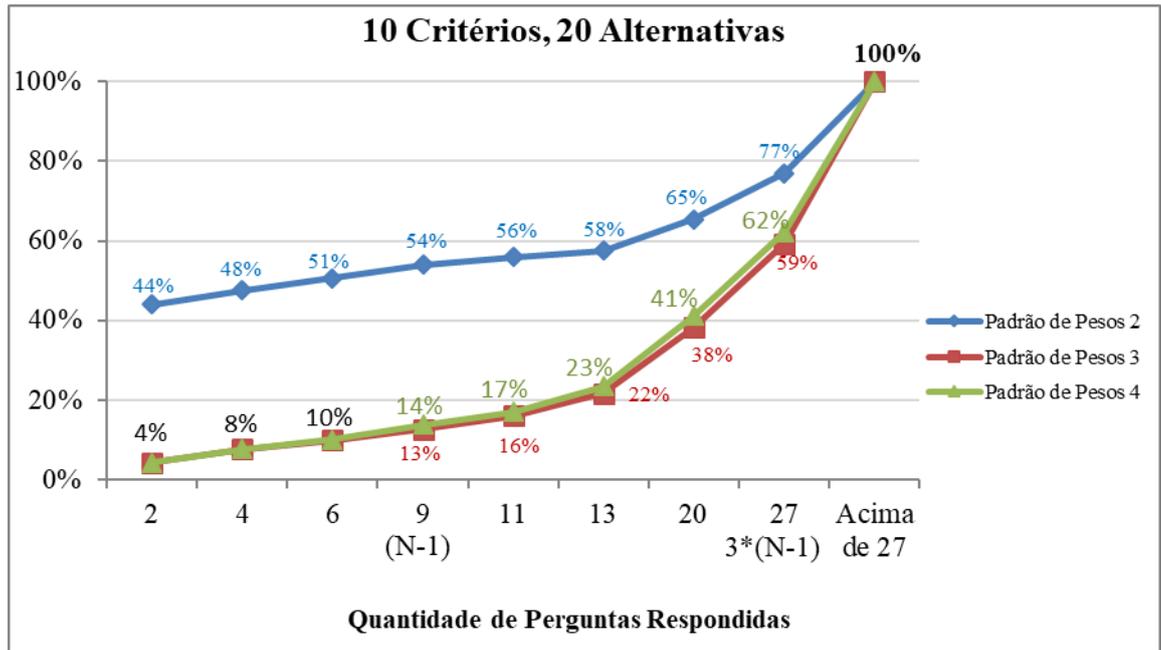


Figura A2.24 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 10 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

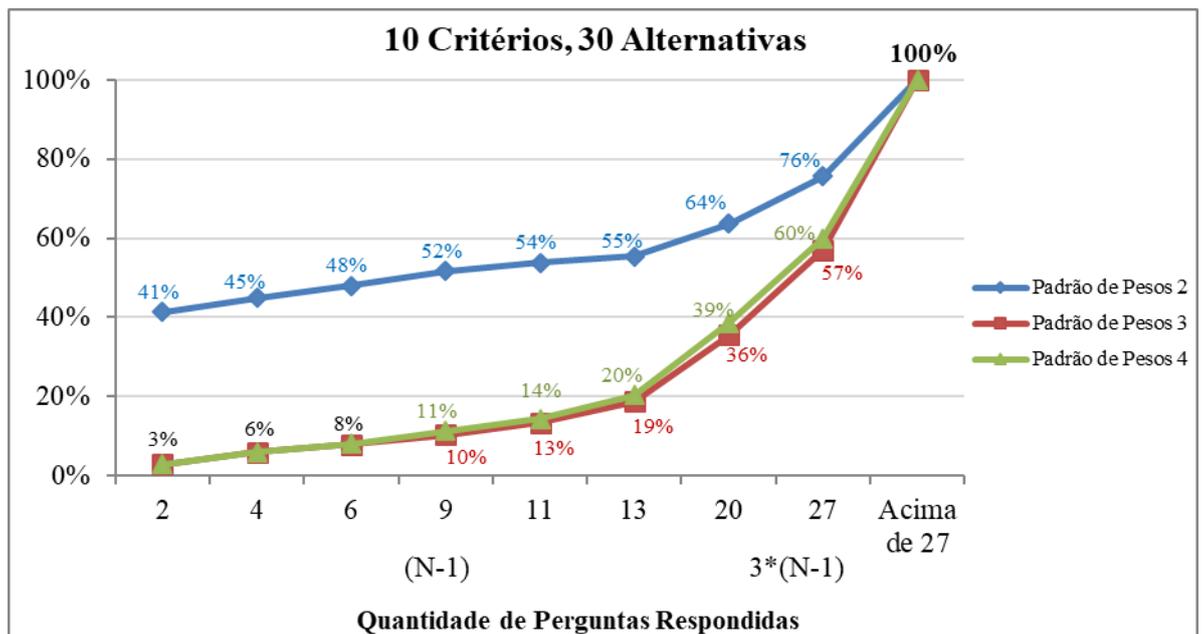


Figura A2.25 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 10 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

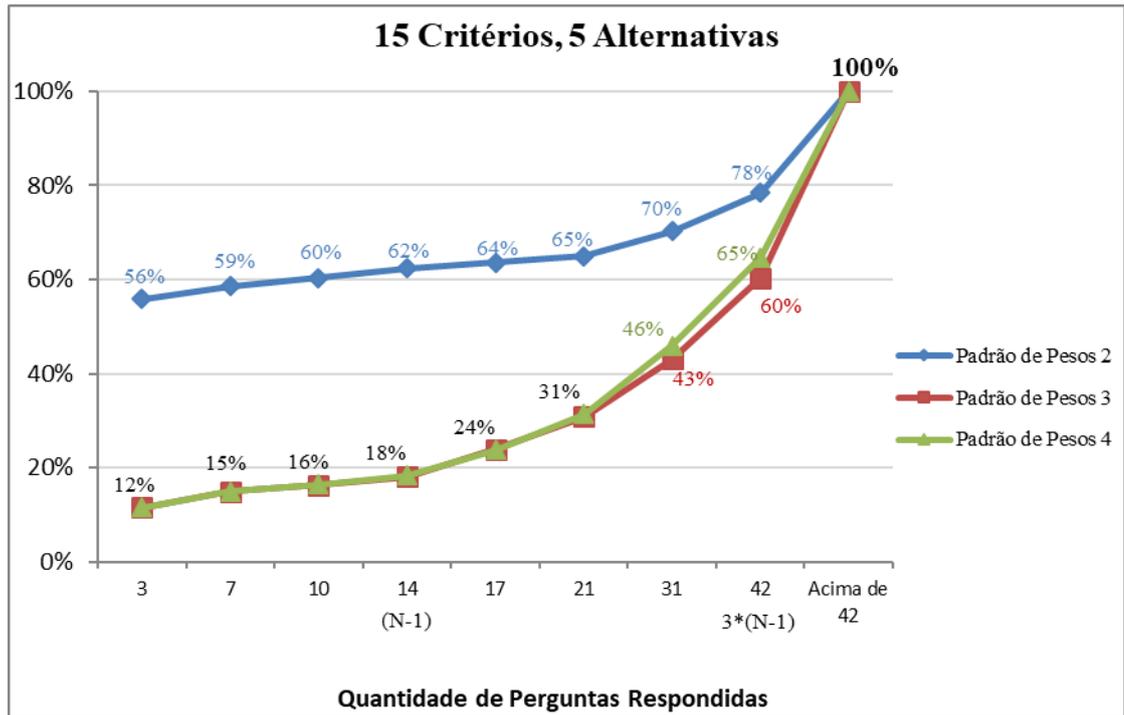


Figura A2.26 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 15 critérios e 5 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

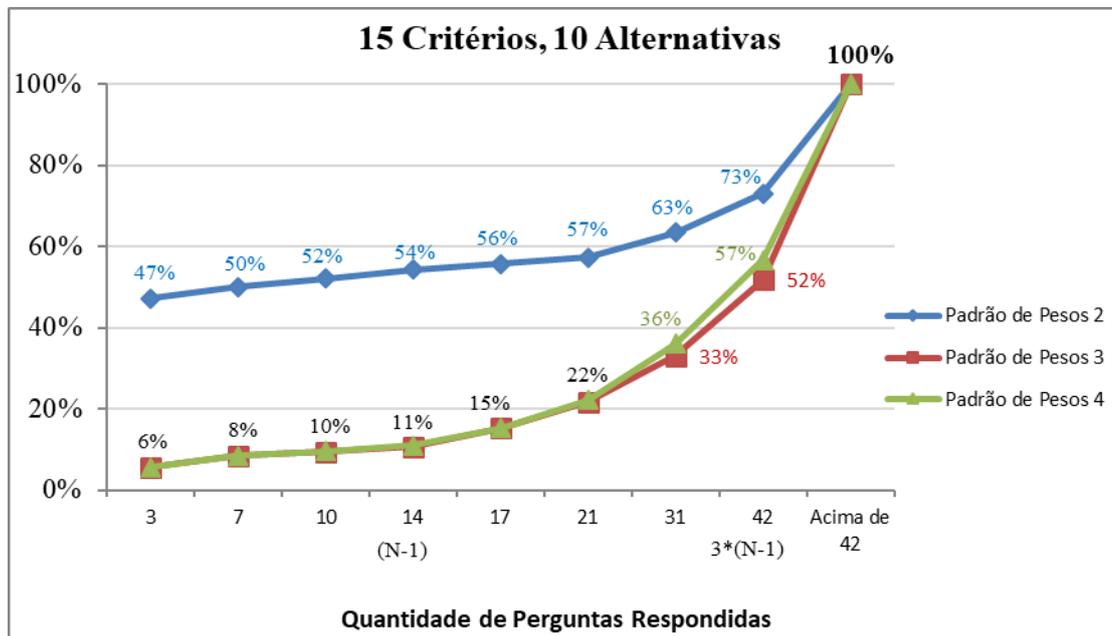


Figura A2.27 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 15 critérios e 10 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

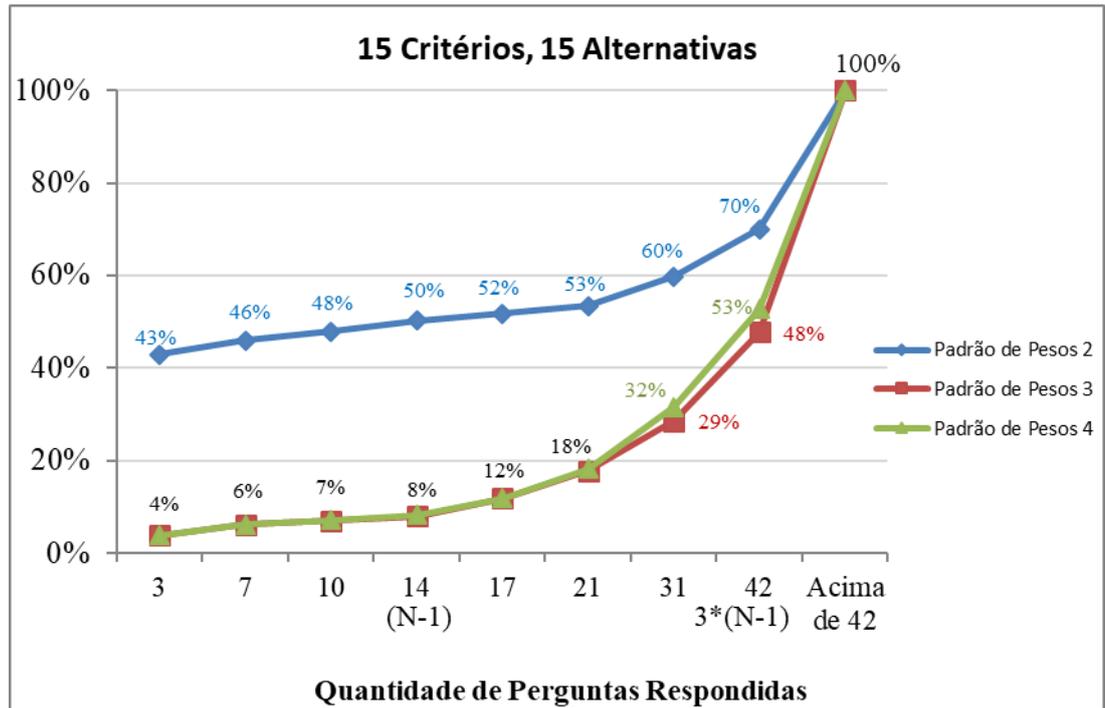


Figura A2.28 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 15 critérios e 15 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

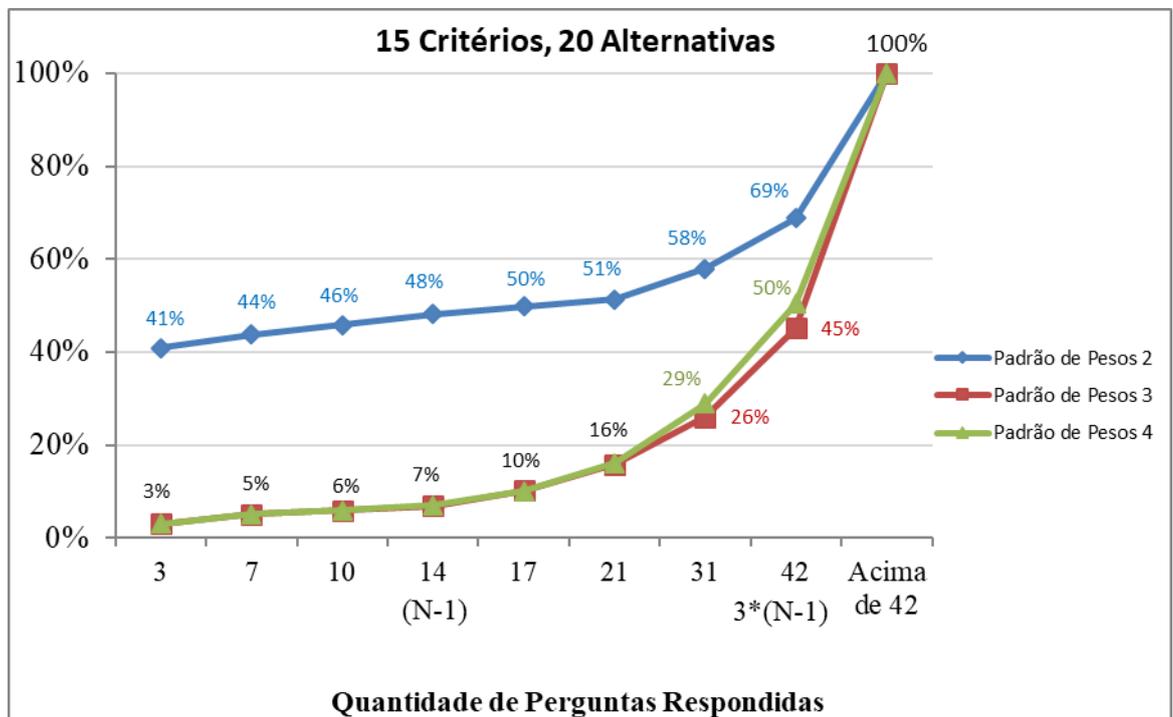


Figura A2.29 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 15 critérios e 20 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

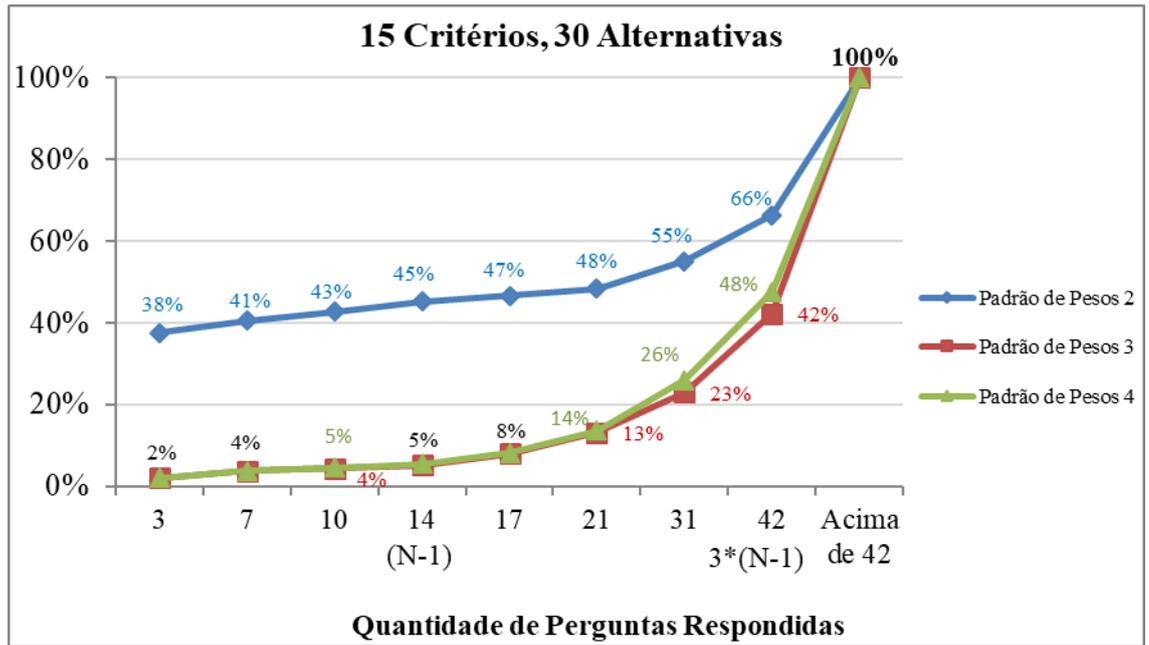


Figura A2.30 – Gráfico dos resultados encontrados em um problema com 15 critérios e 30 alternativas (Esta Pesquisa, 2019)

APÊNDICE C – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÚMERO DE ALTERNATIVAS

Este apêndice apresenta os resultados exaustivos de cada cenário simulado frente à pergunta: qual a influência que o aumento no número de alternativas tem no número de perguntas feitas ao decisor?

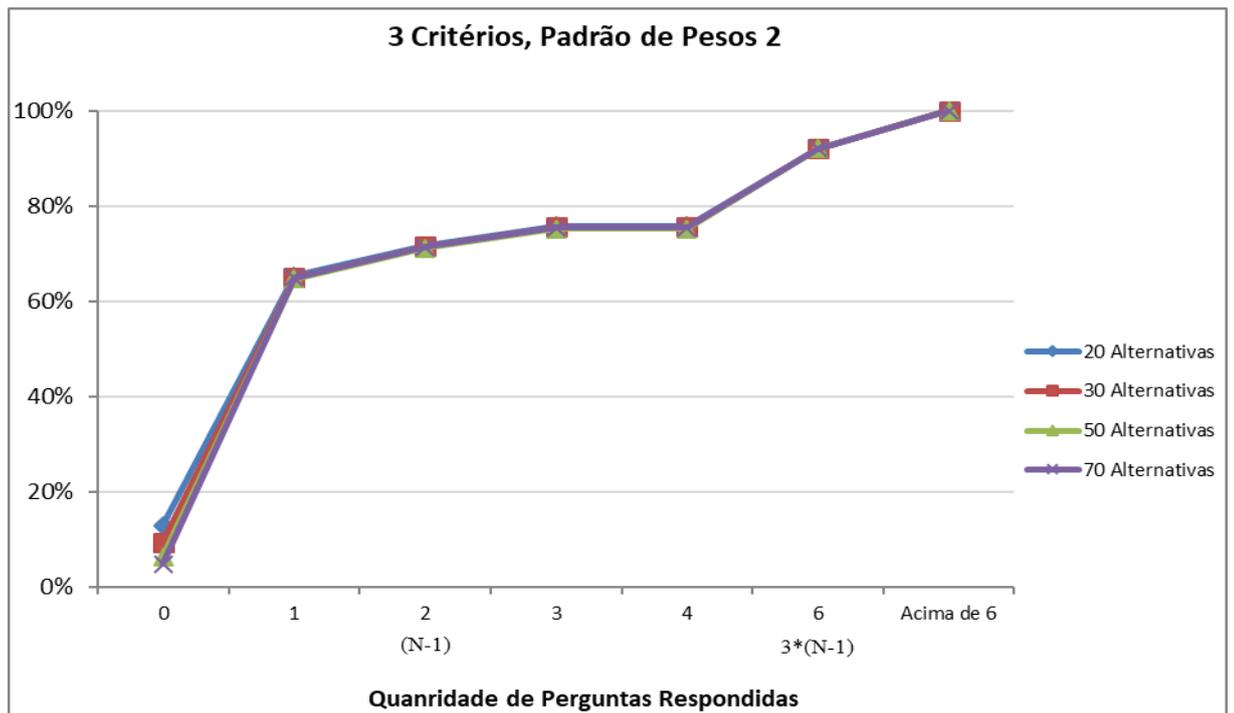


Figura A3.1 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 3 Critérios e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

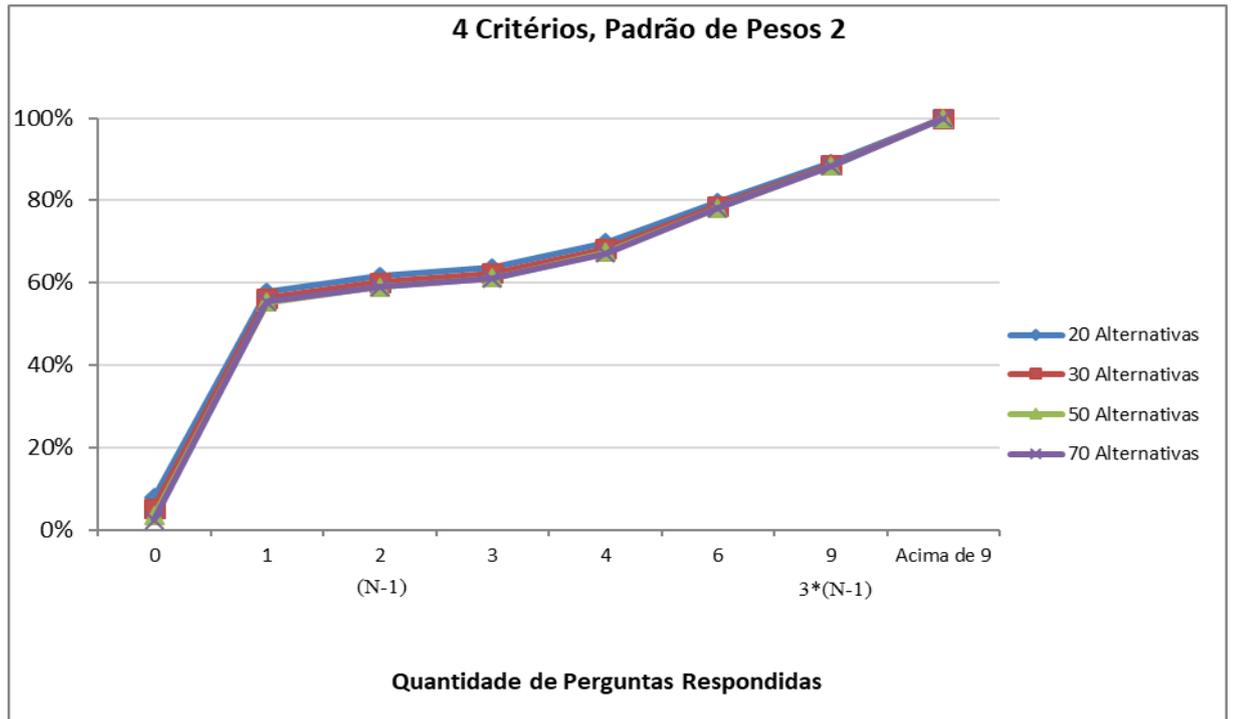


Figura A3.2 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 4 Critérios e Padrão de pesos 2.
(Esta Pesquisa, 2019)

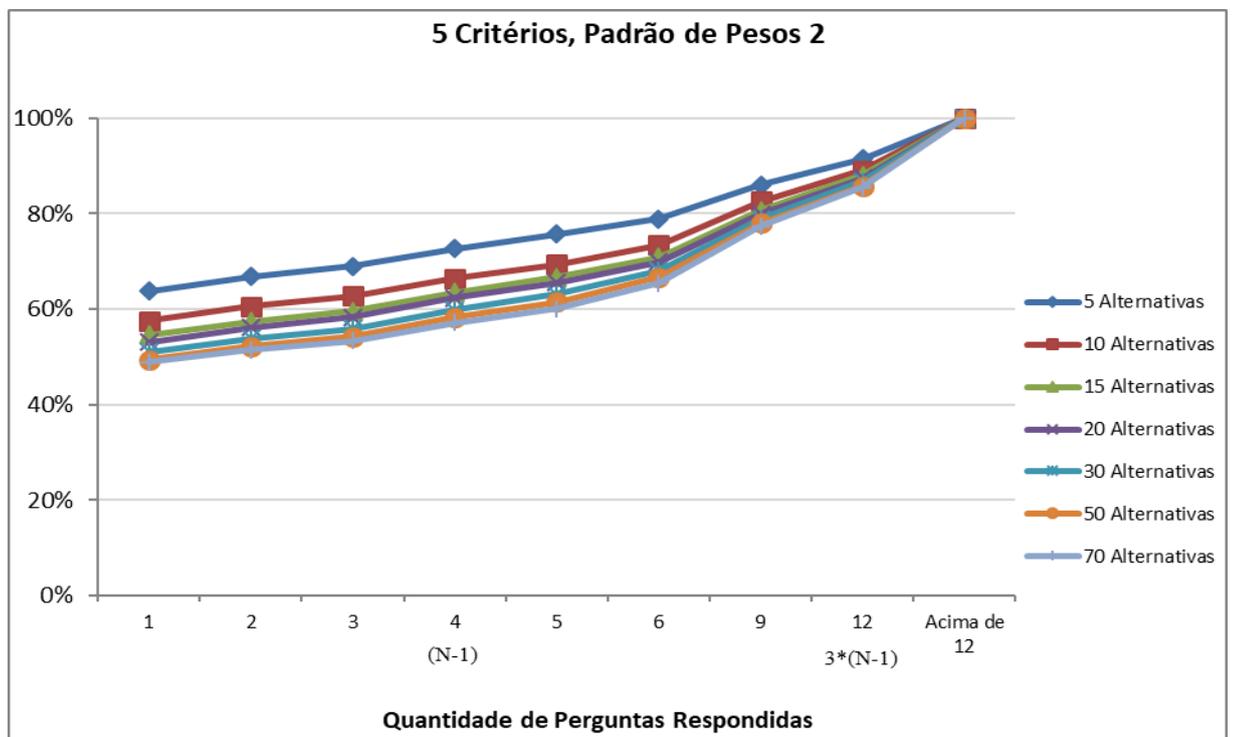


Figura A3.3 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Critérios e Padrão de pesos 2.
(Esta Pesquisa, 2019)

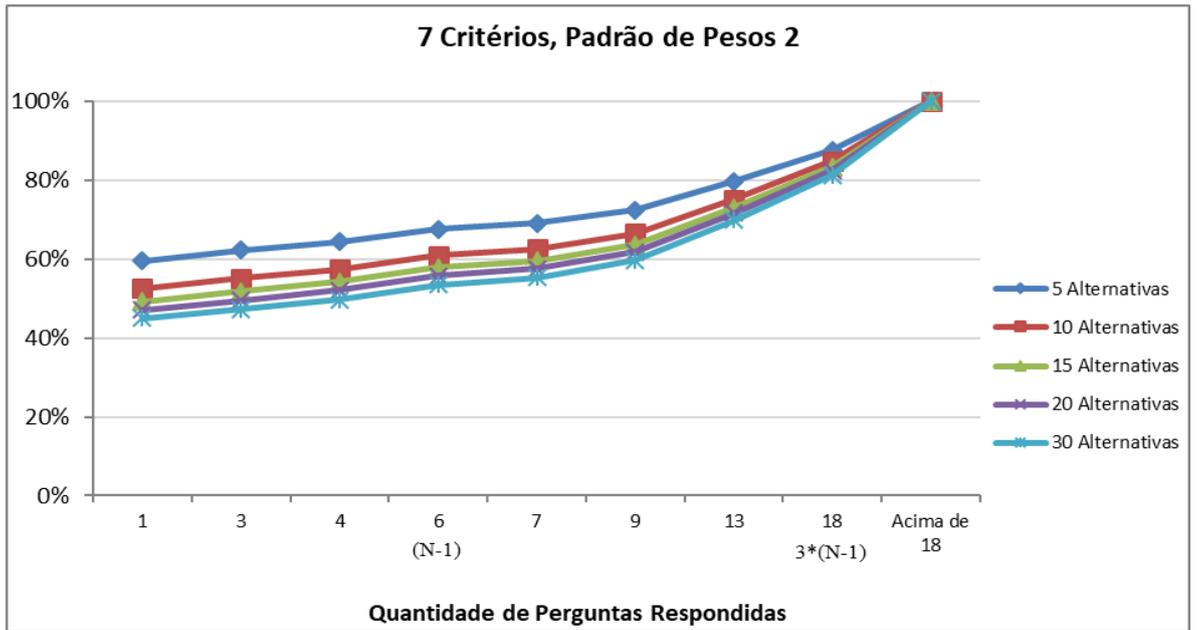


Figura A3.4 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 7 Critérios e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

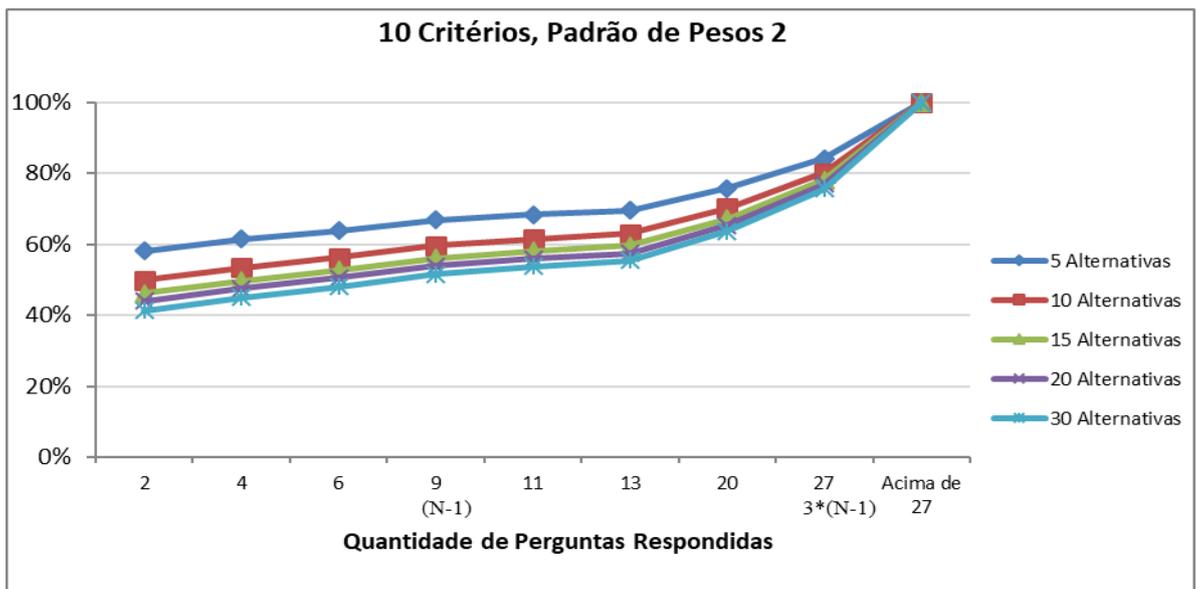


Figura A3.5 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 10 Critérios e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

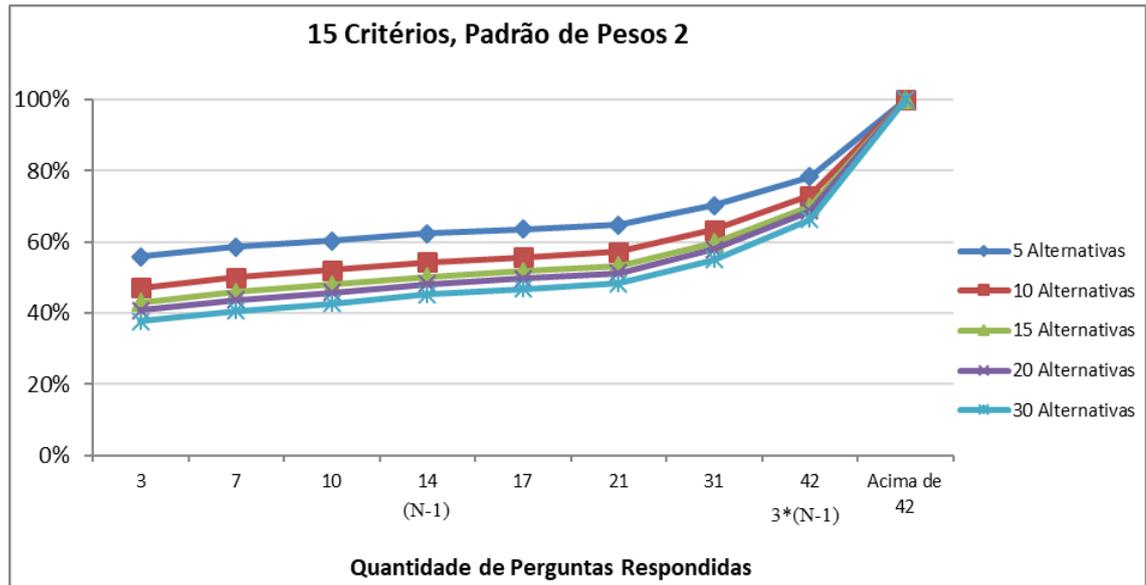


Figura A3.6 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 15 Critérios e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

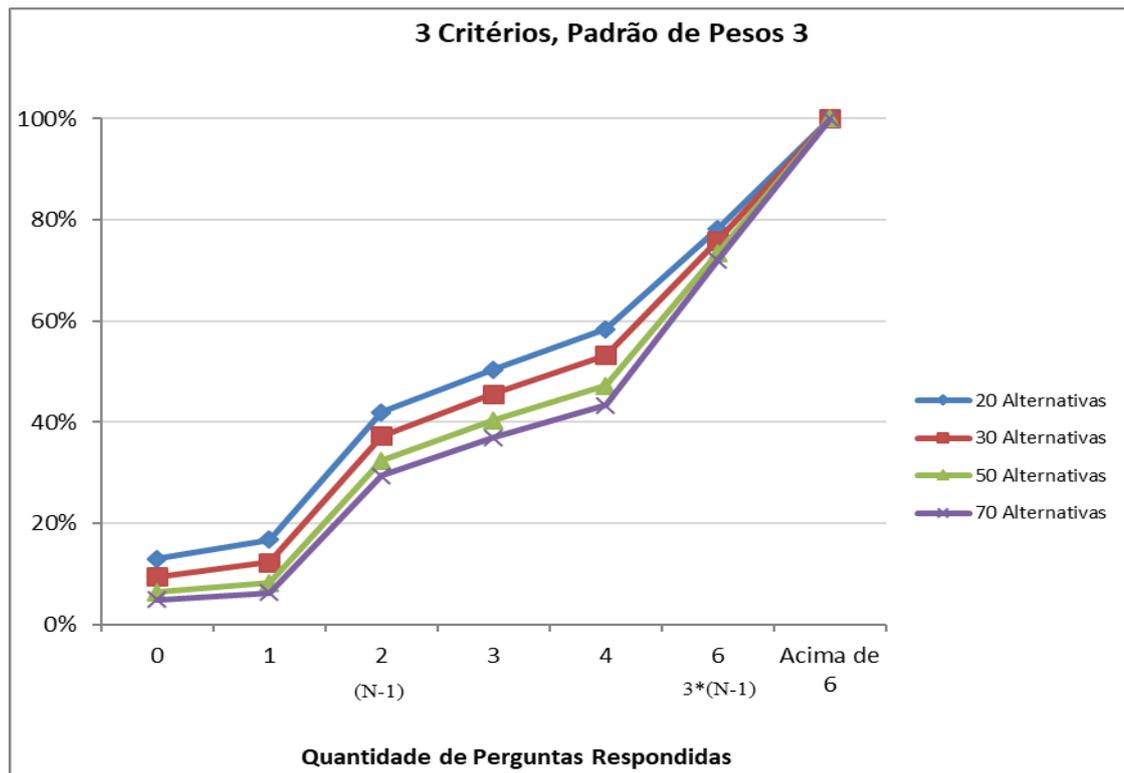


Figura A3.7 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 3 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

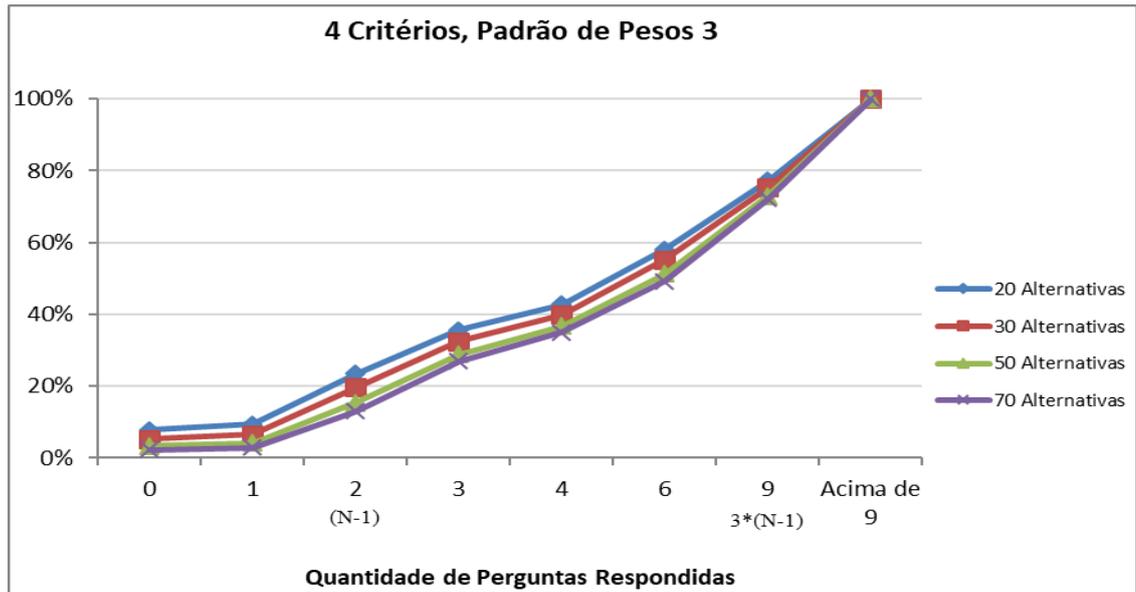


Figura A3.8 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 4 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

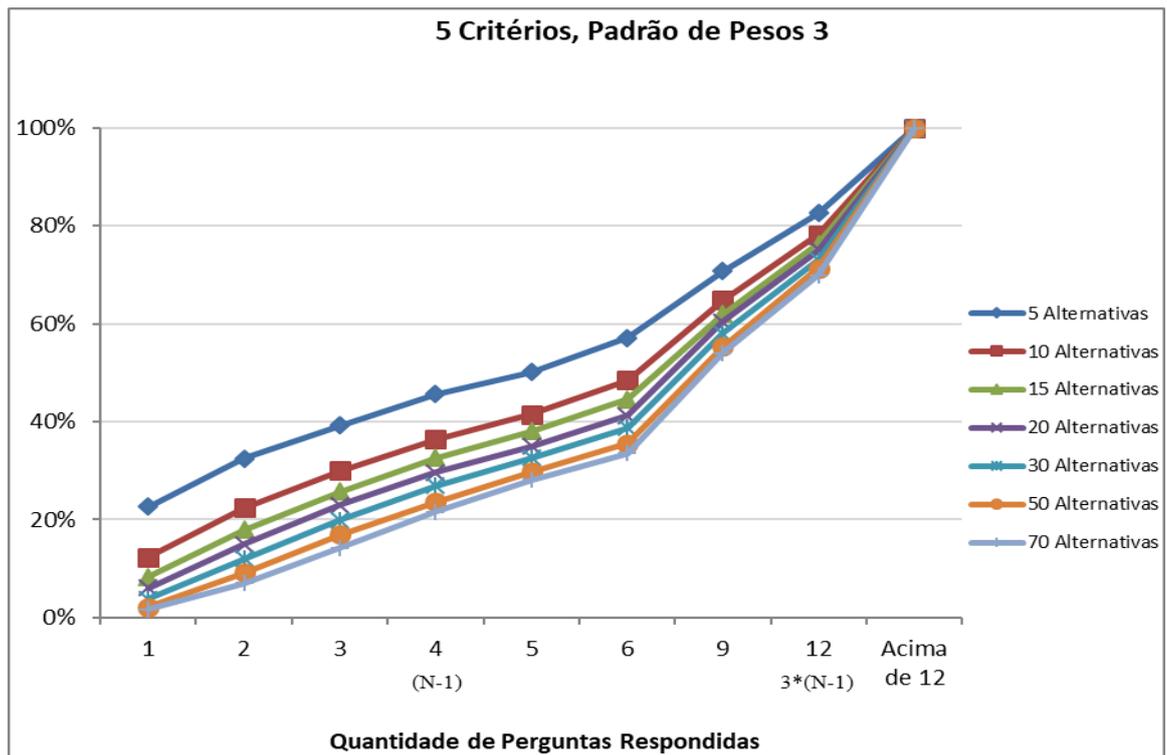


Figura A3.9 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

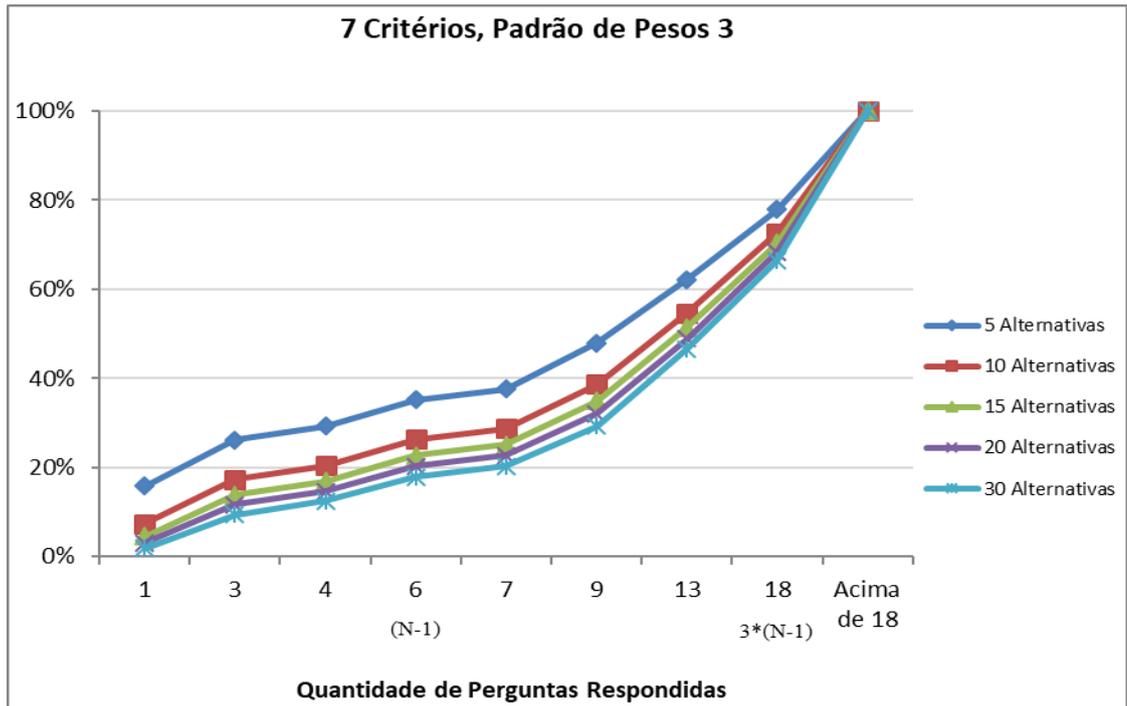


Figura A3.10 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 7 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

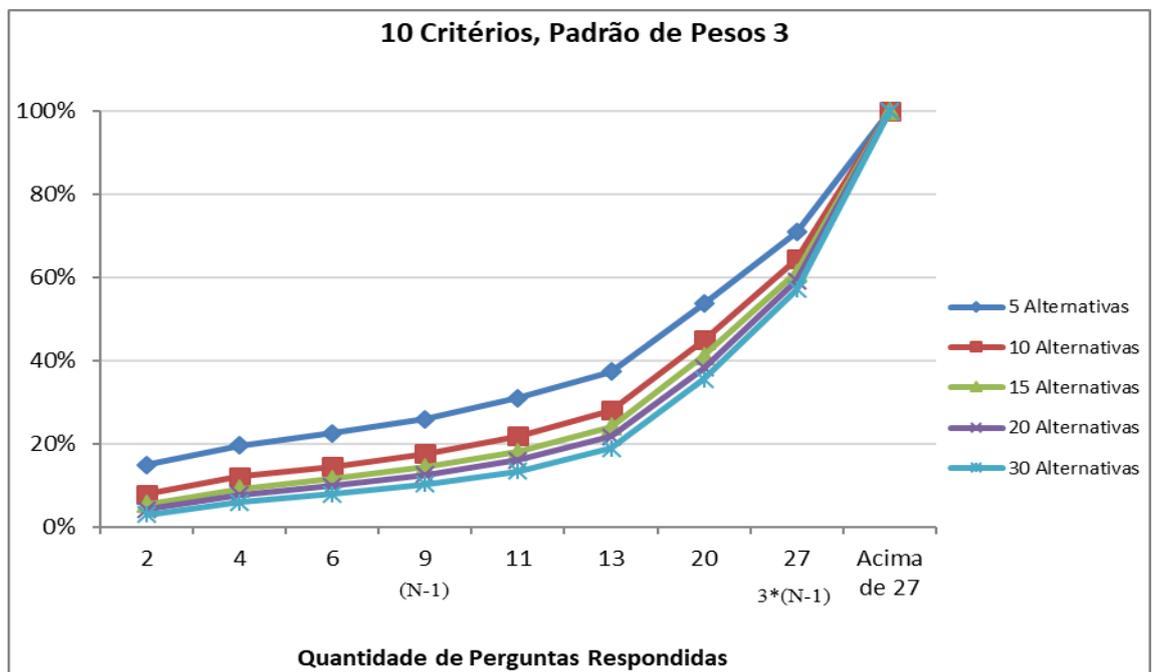


Figura A3.11 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 10 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

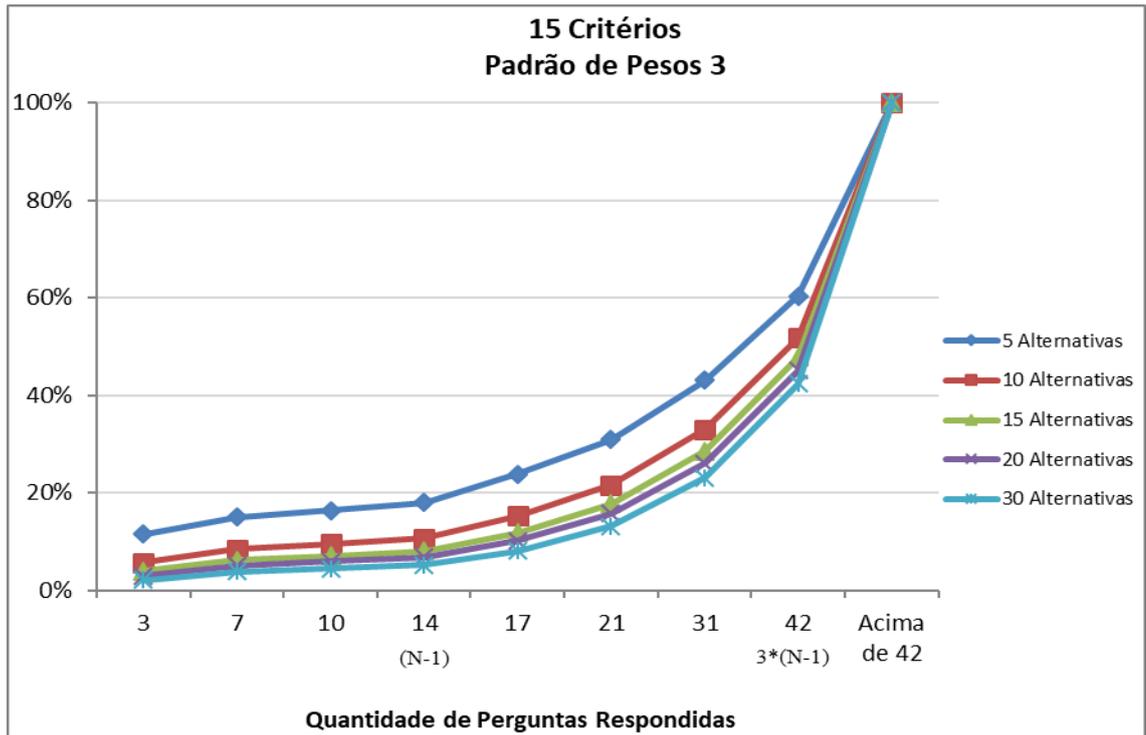


Figura A3.12 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 15 Critérios e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

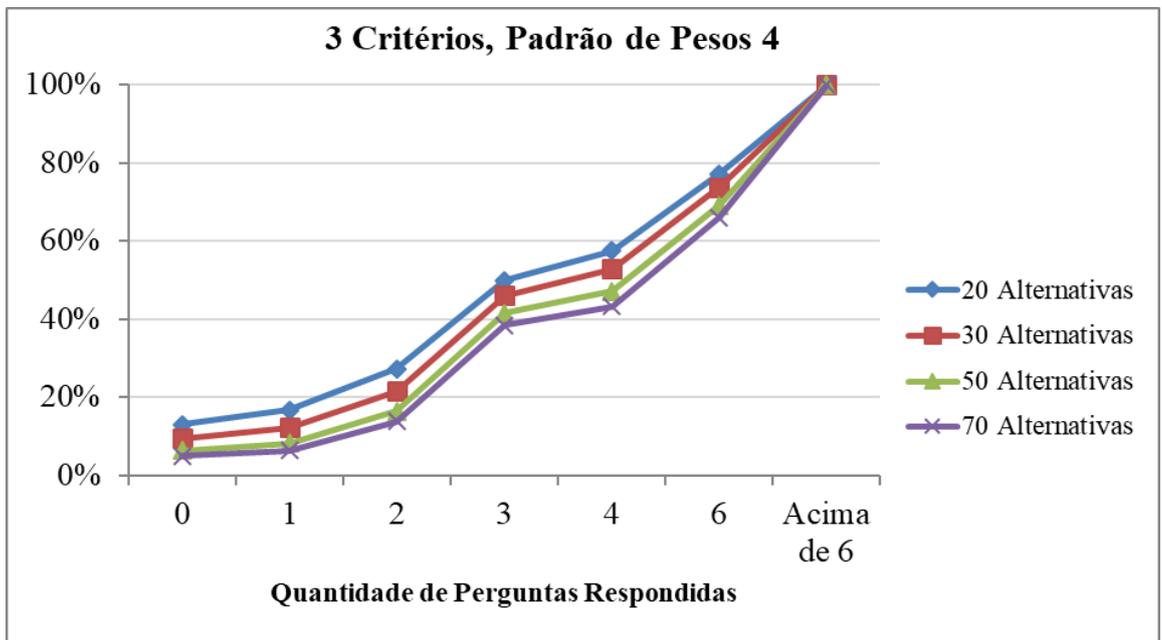


Figura A3.13 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 3 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

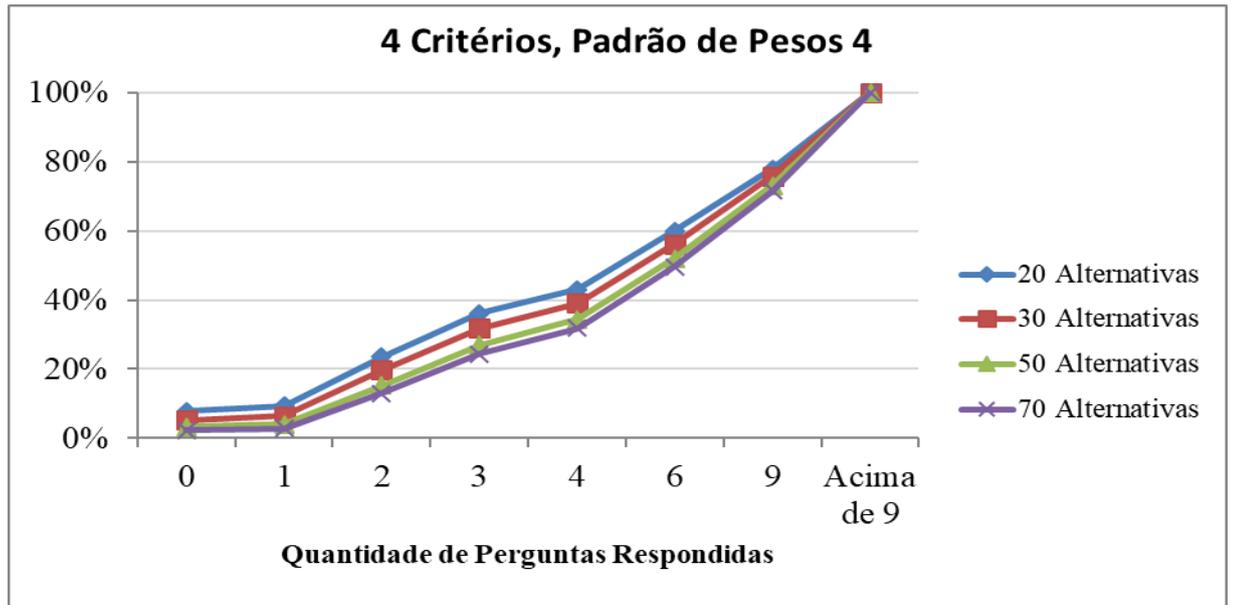


Figura A3.14 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 4 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

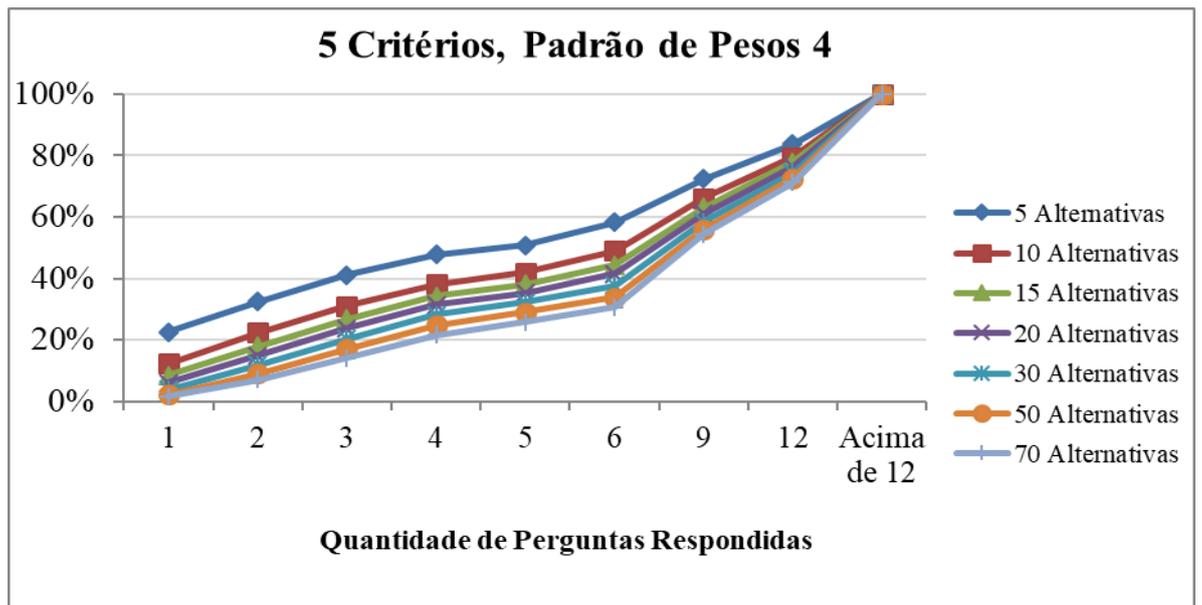


Figura A3.15 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

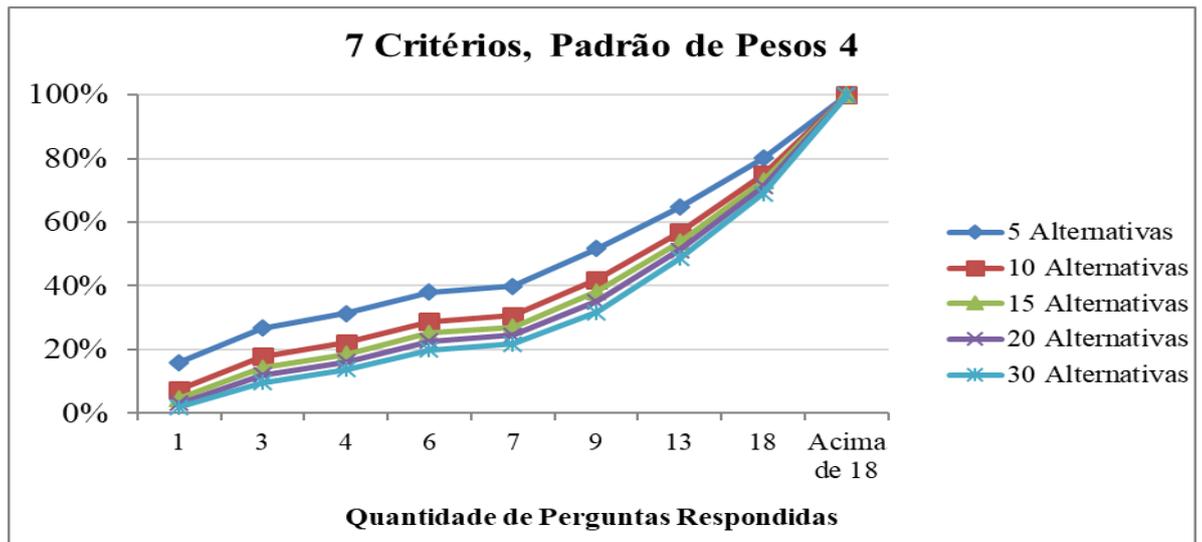


Figura A3.16 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 7 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

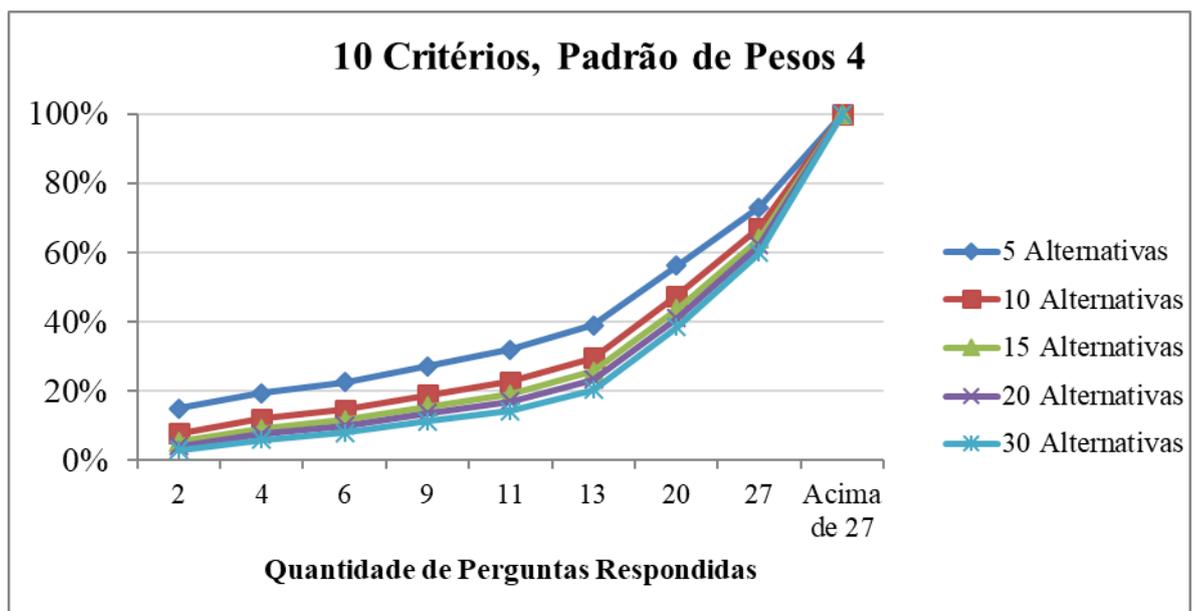


Figura A3.17 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 3 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

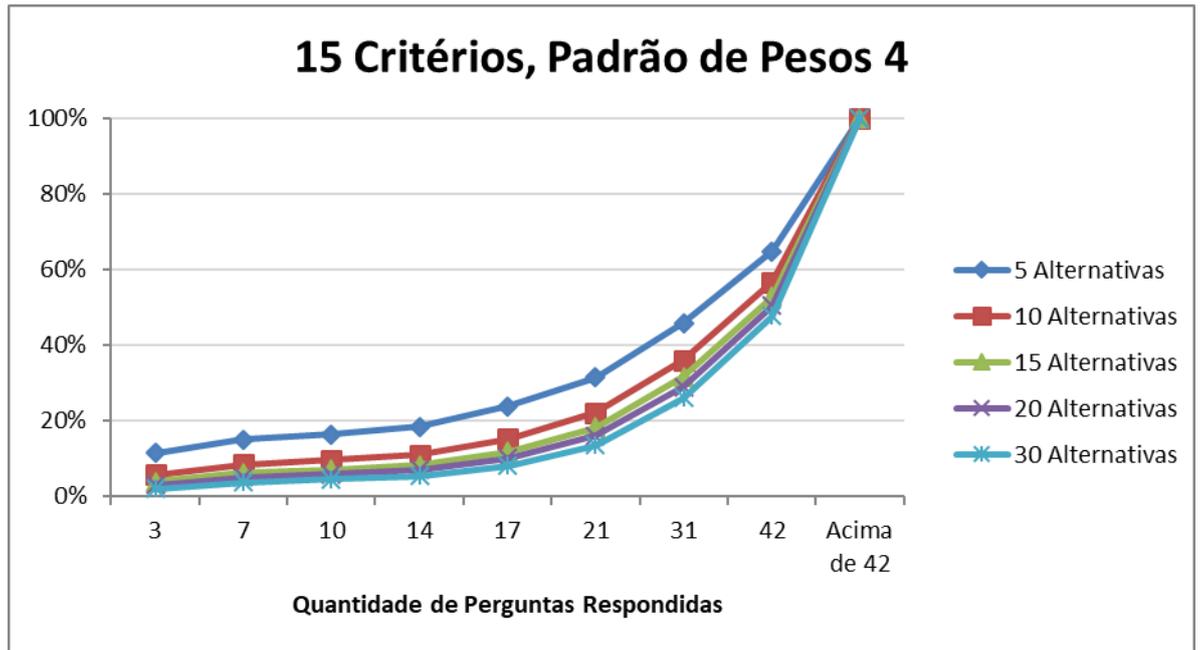


Figura A3.18 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 3 Critérios e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

APÊNDICE D – INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÚMERO DE CRITÉRIOS

Este apêndice apresenta os resultados exaustivos de cada cenário simulado frente à pergunta: qual a influência que o aumento no número de critérios tem no número de perguntas feitas ao decisor?

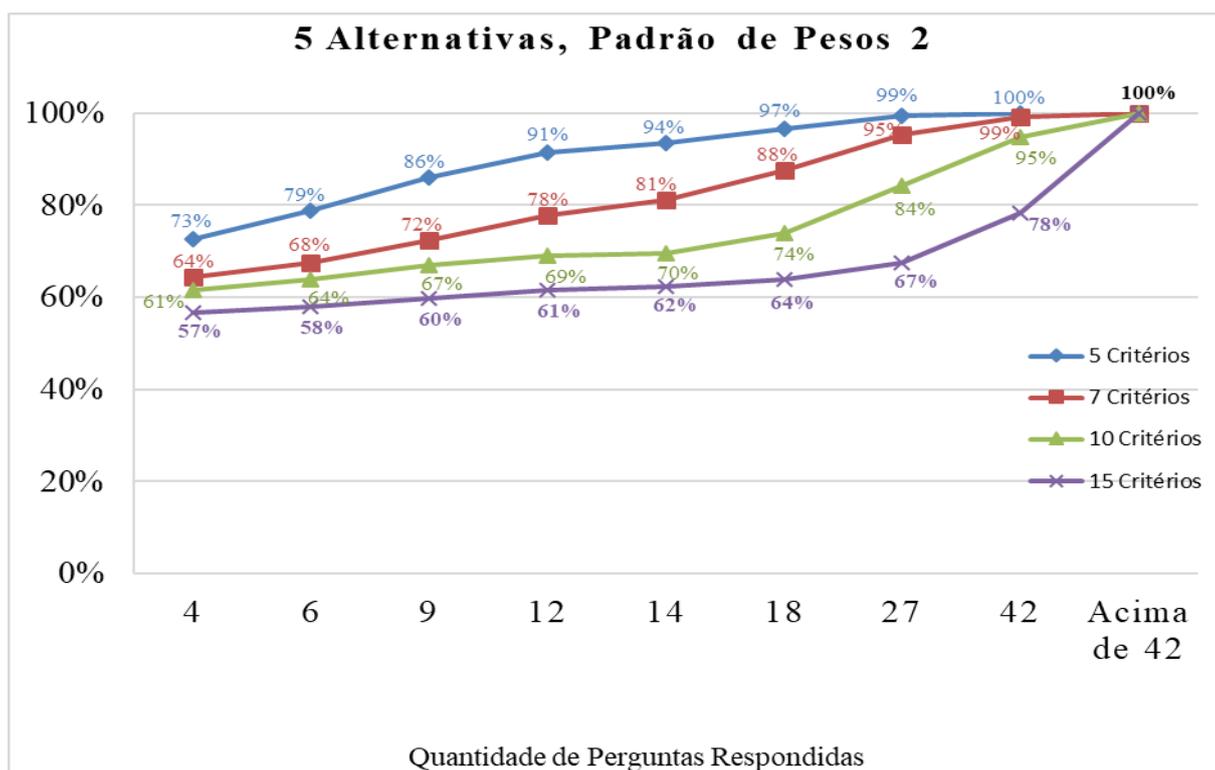


Figura A4.1 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

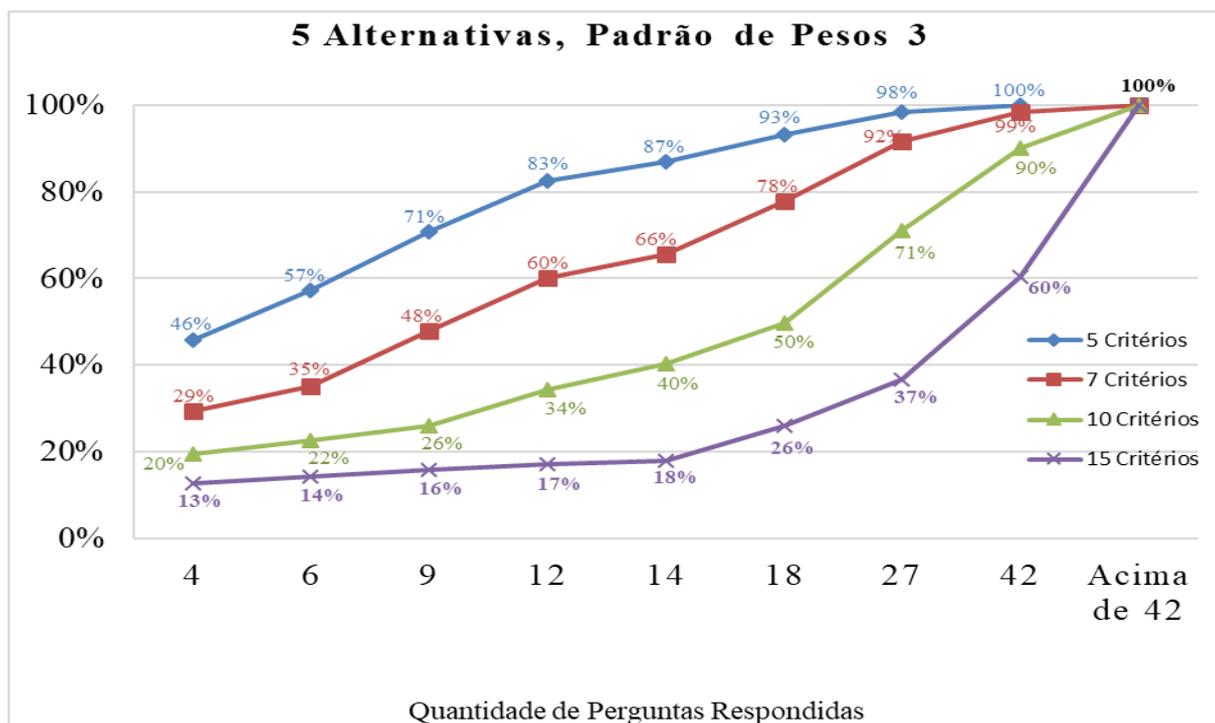


Figura A4.2 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

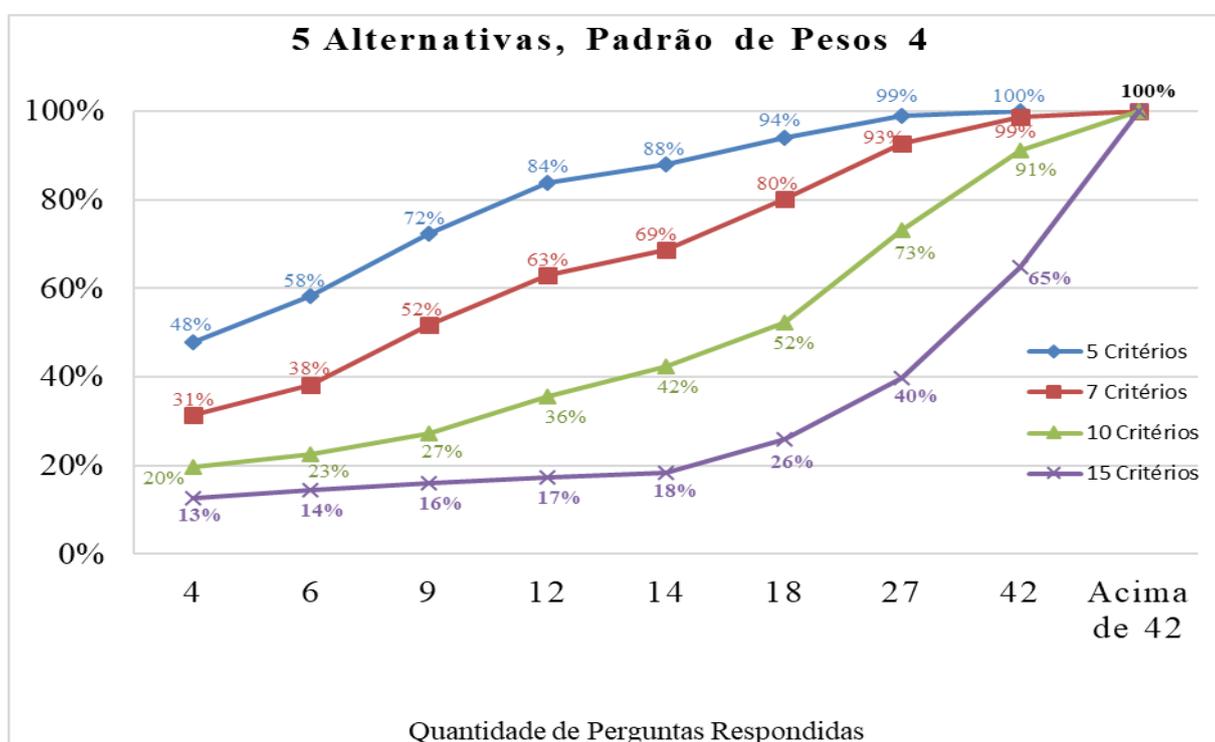


Figura A4.3 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 5 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

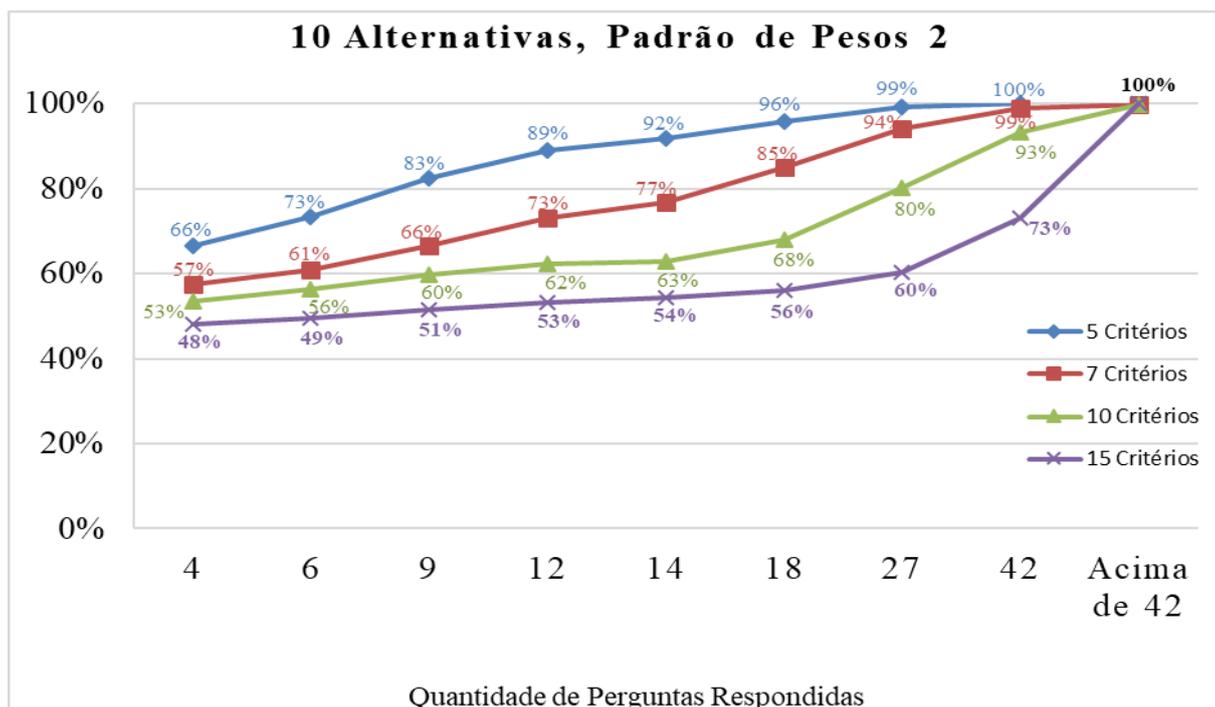


Figura A4.4 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 10 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

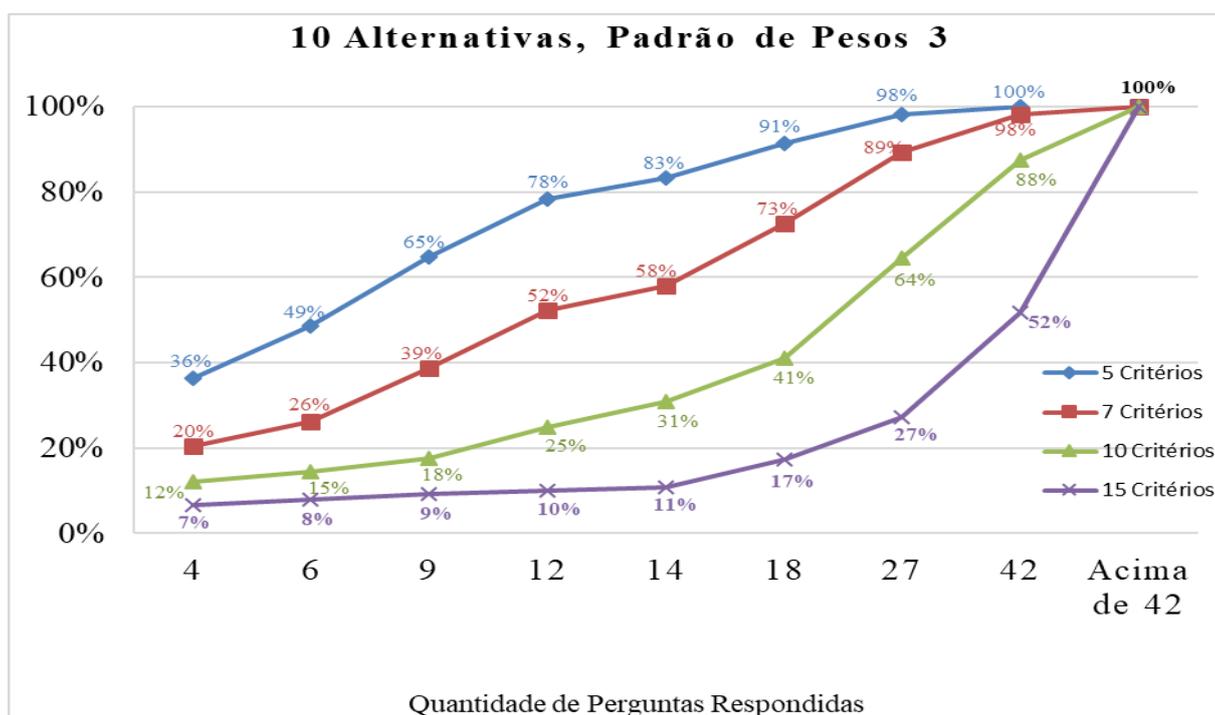


Figura A4.5 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 10 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

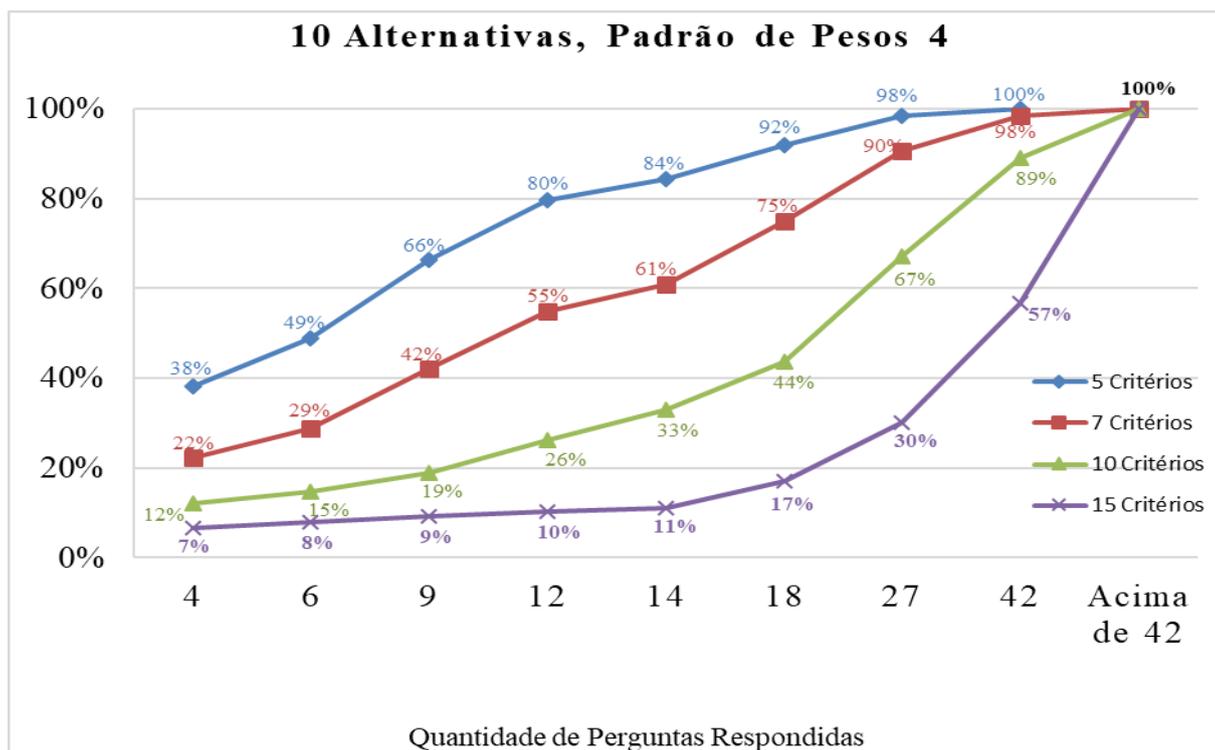


Figura A4.6 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 10 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

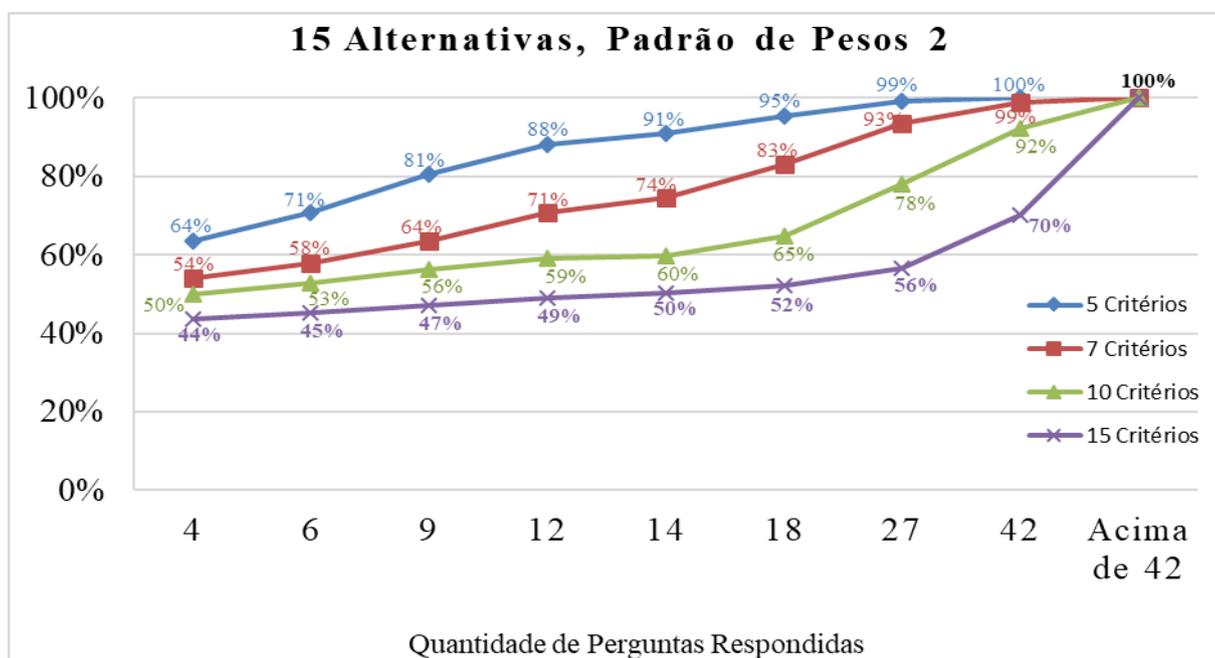


Figura A4.7 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 15 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

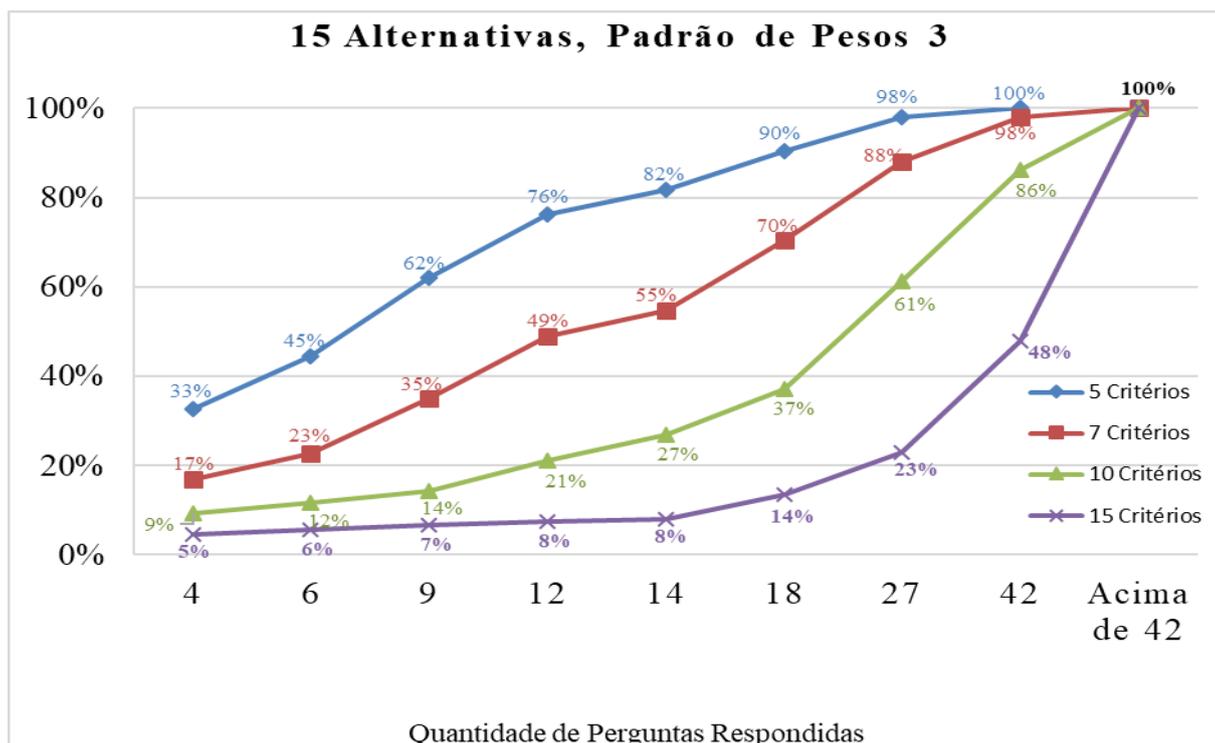


Figura A4.8 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 15 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

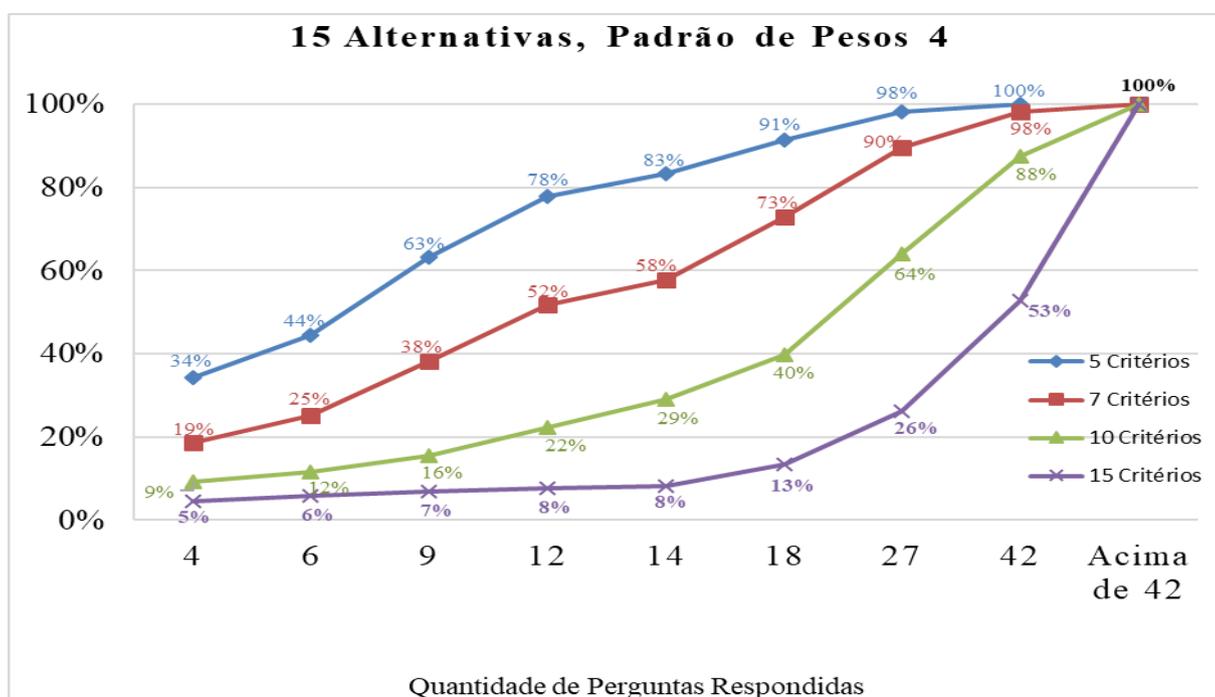


Figura A4.9 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 15 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

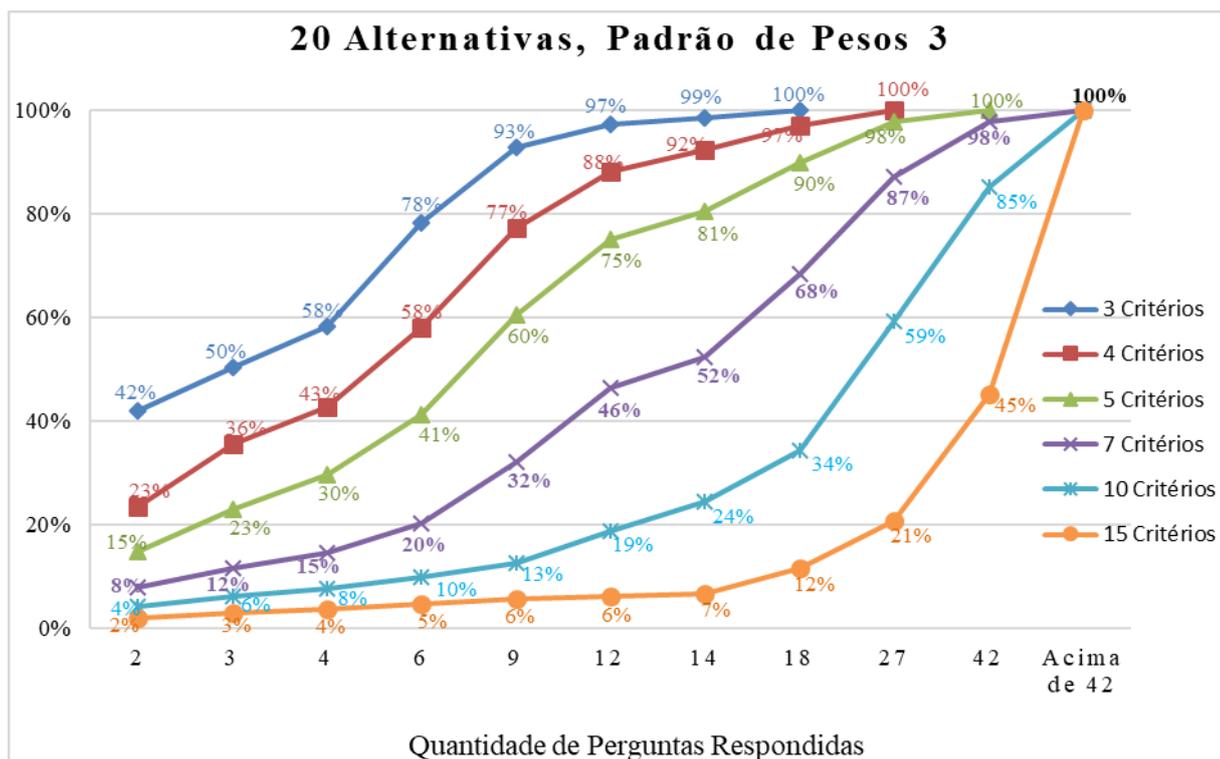


Figura A4.10 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 20 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

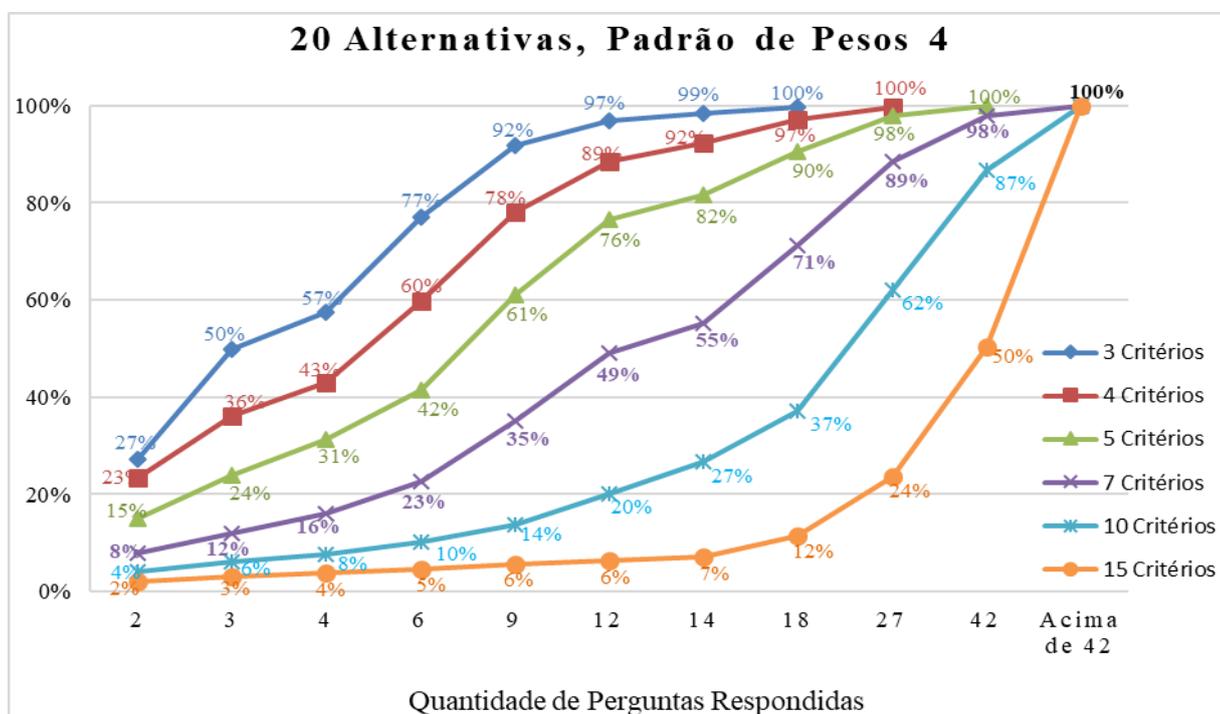


Figura A4.11 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 20 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

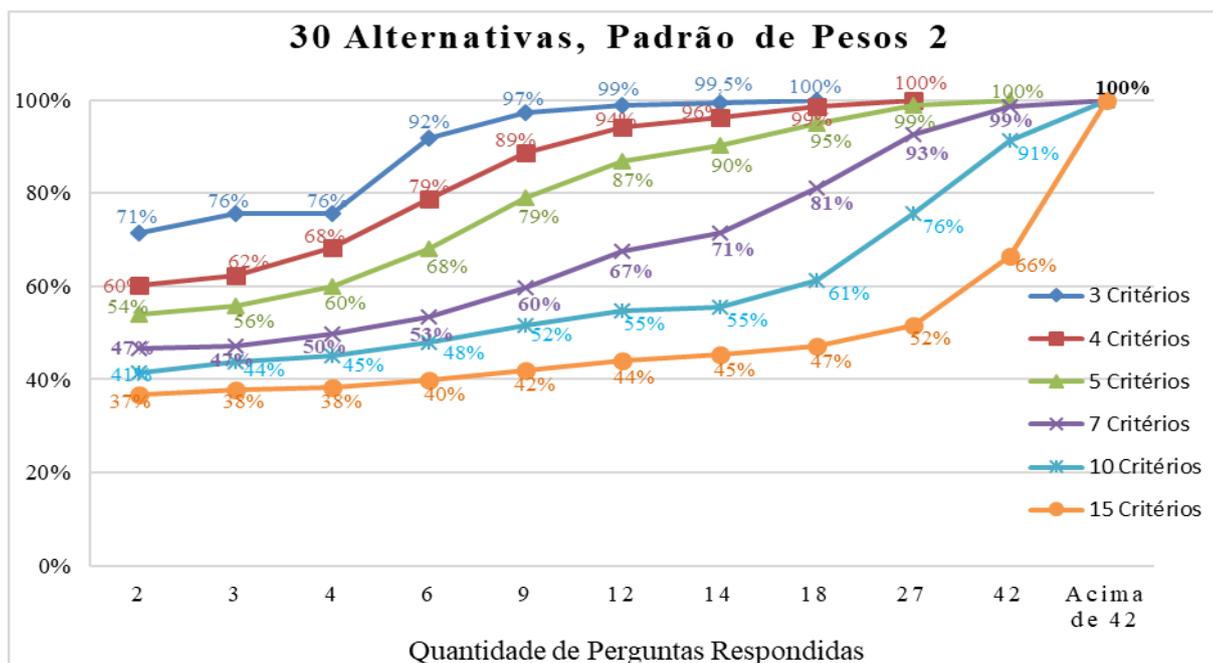


Figura A4.12 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 30 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

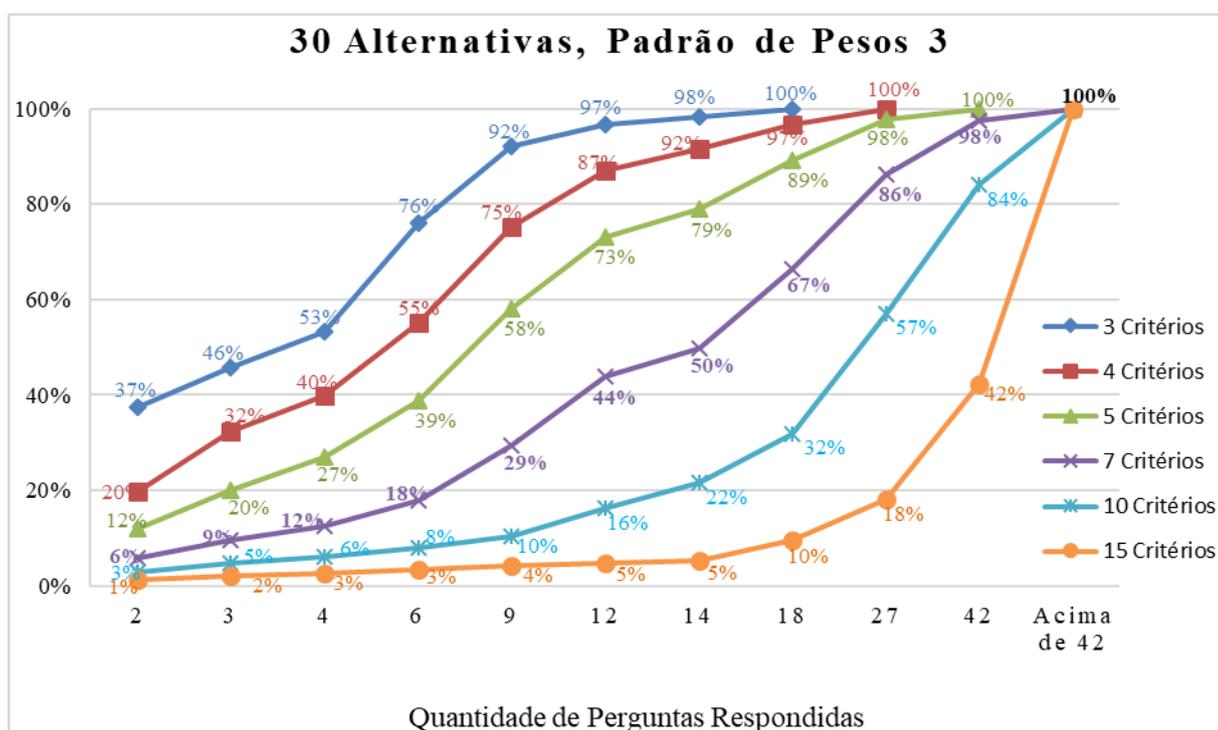


Figura A4.13 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 30 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

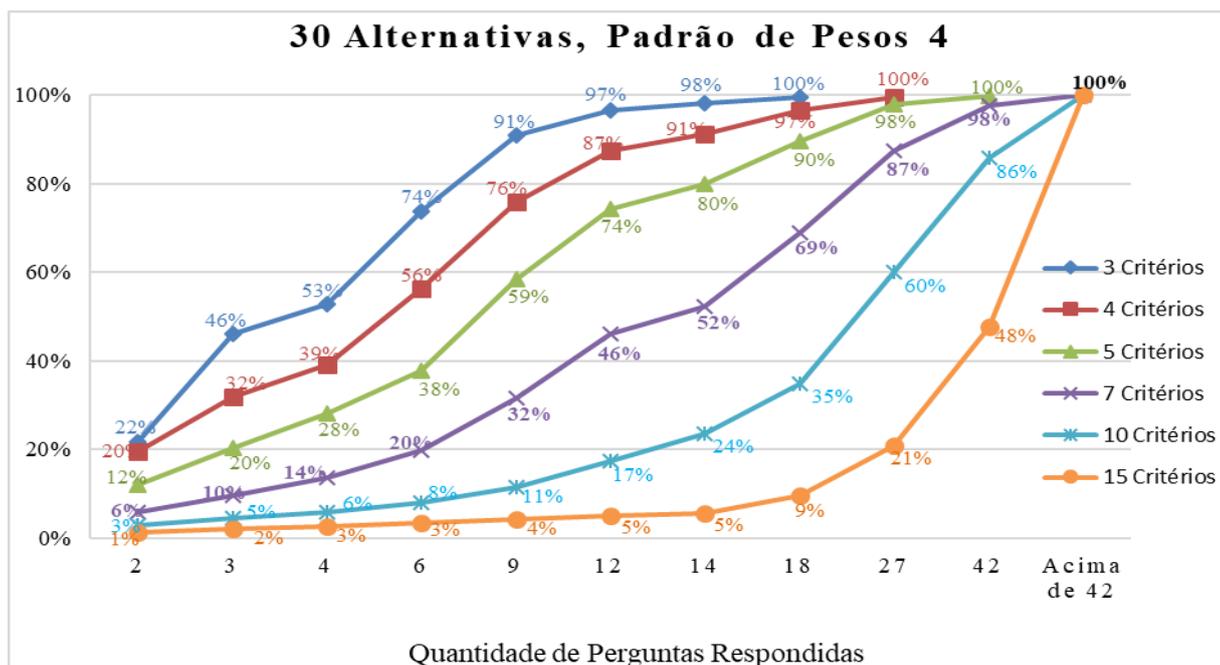


Figura A4.14 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 30 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

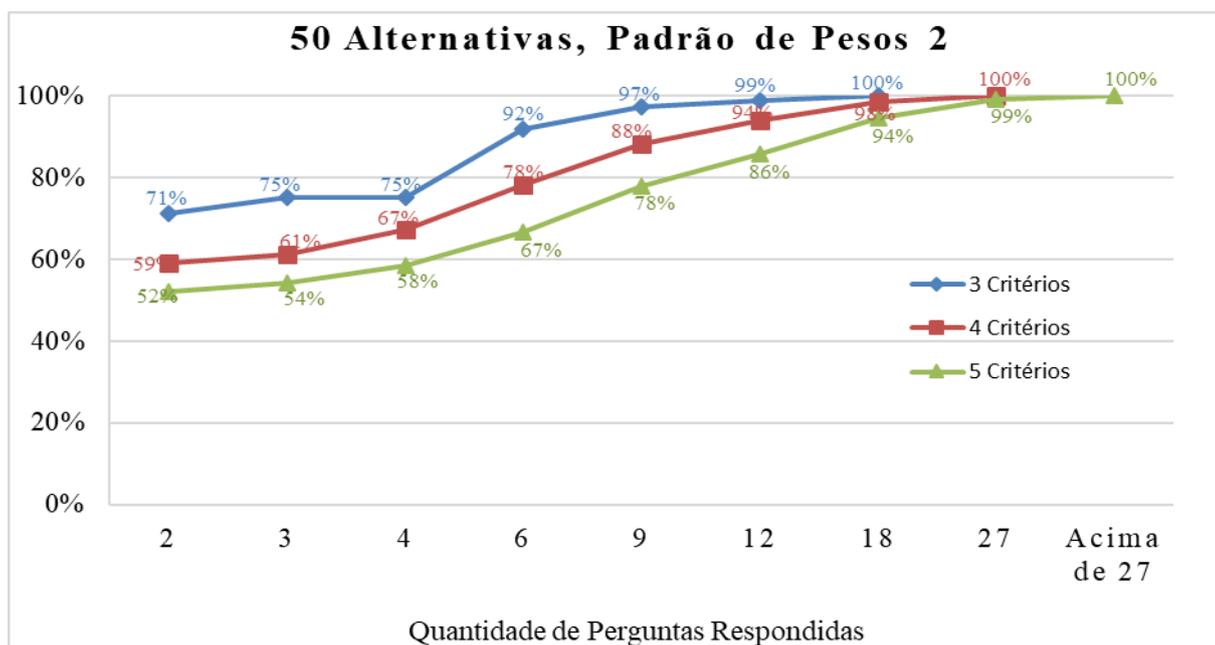


Figura A4.15 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 50 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

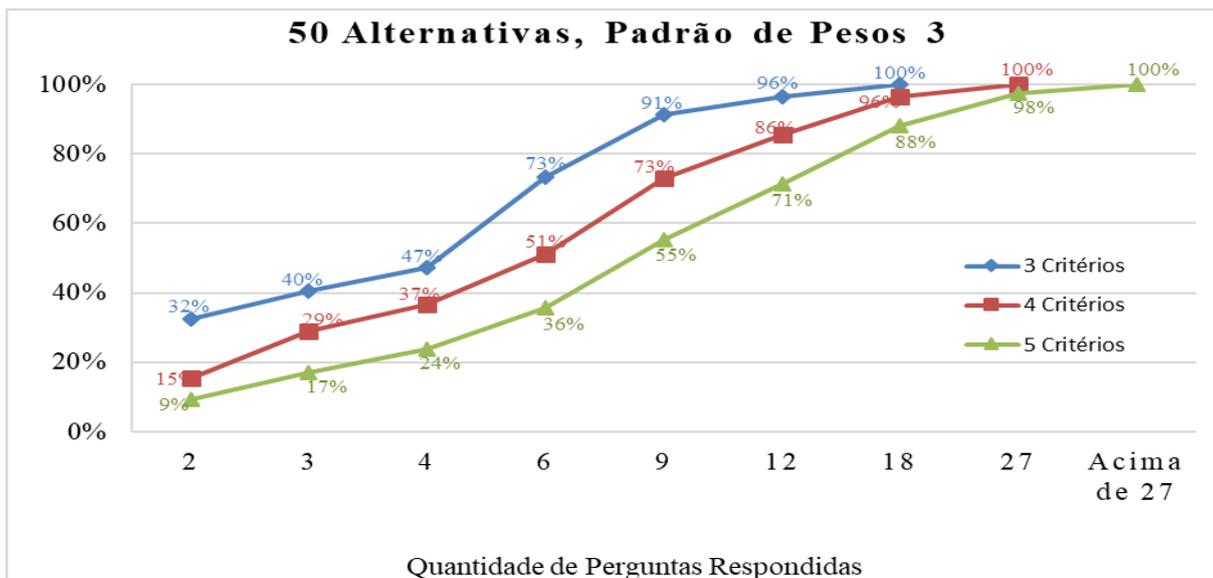


Figura A4.16 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 50 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

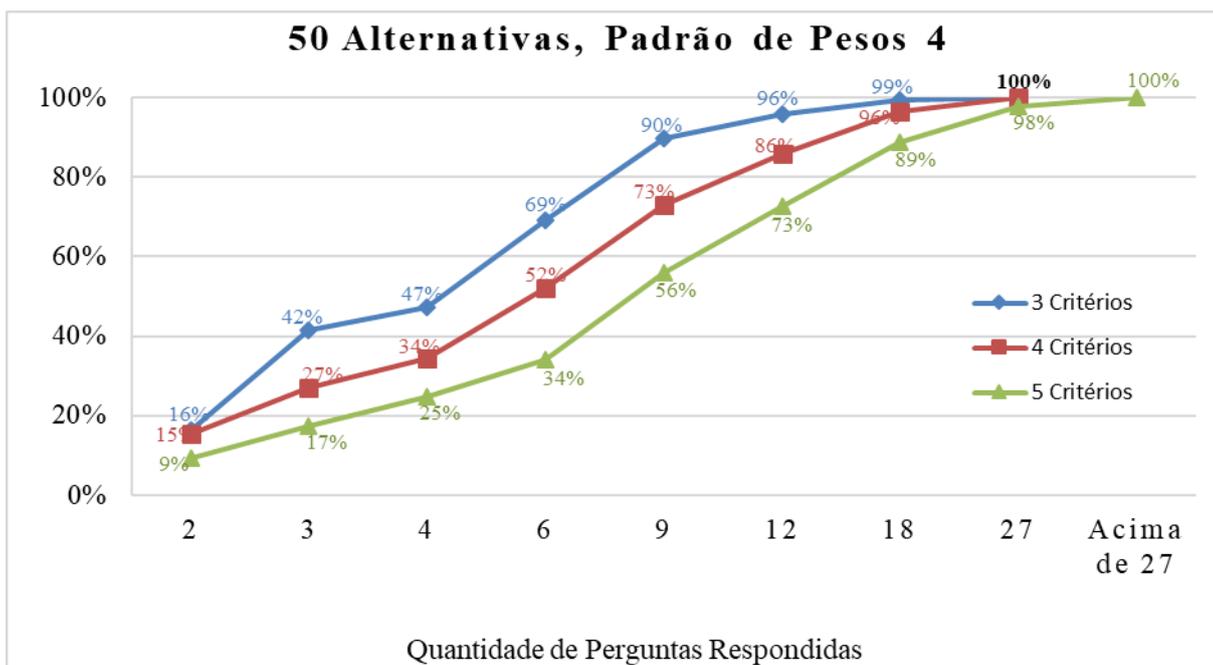


Figura A4.17 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 50 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

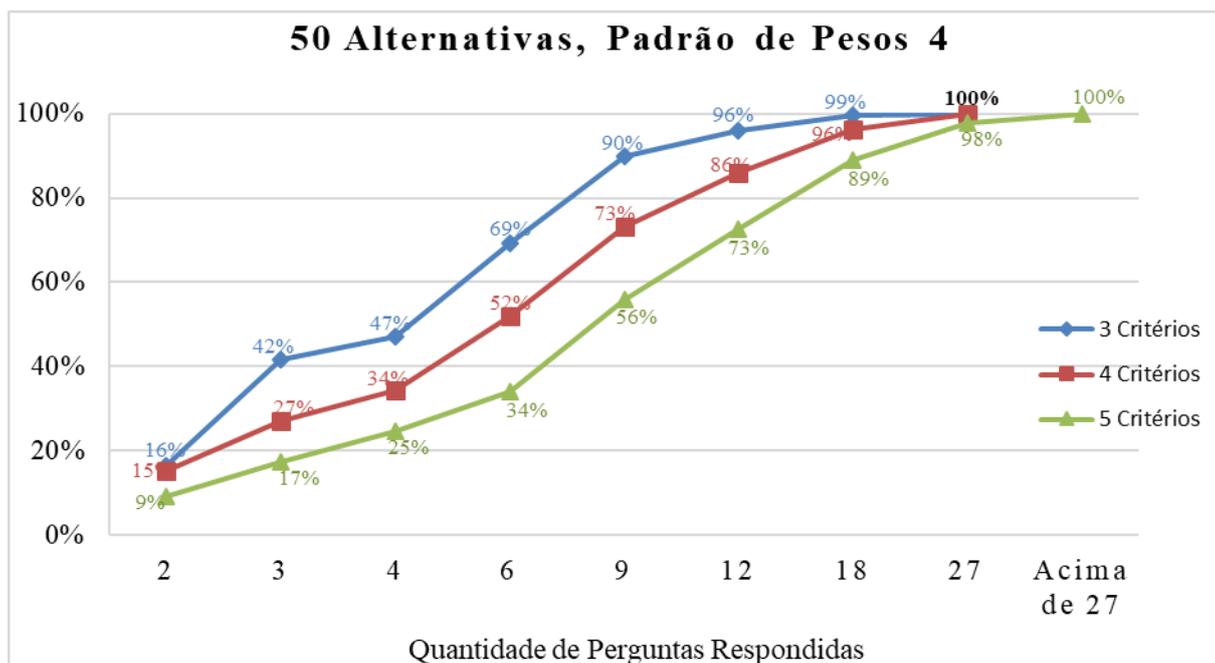


Figura A4.18 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 50 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

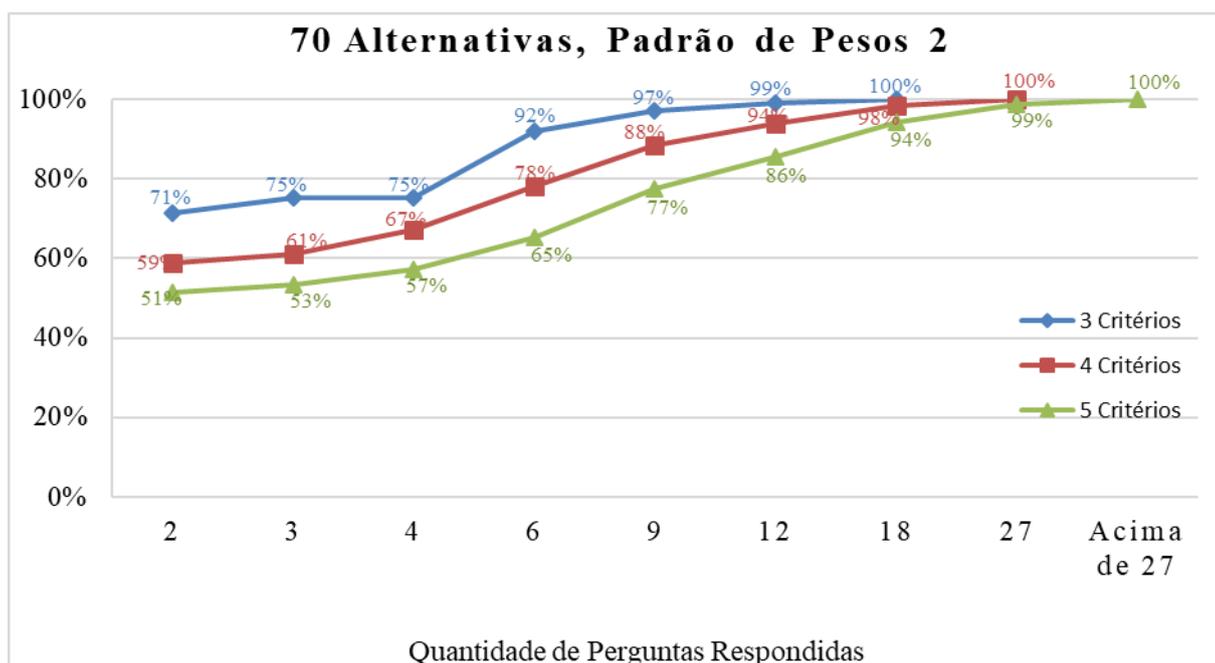


Figura A4.19 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 70 Alternativas e Padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

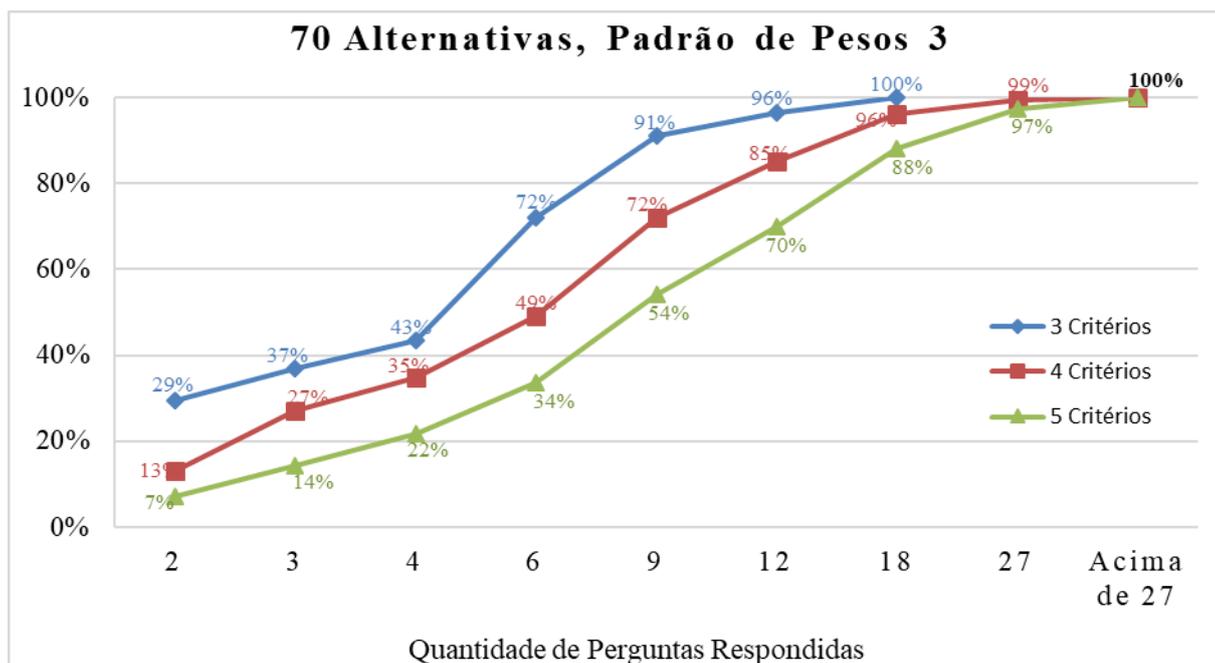


Figura A4.20 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 70 Alternativas e Padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

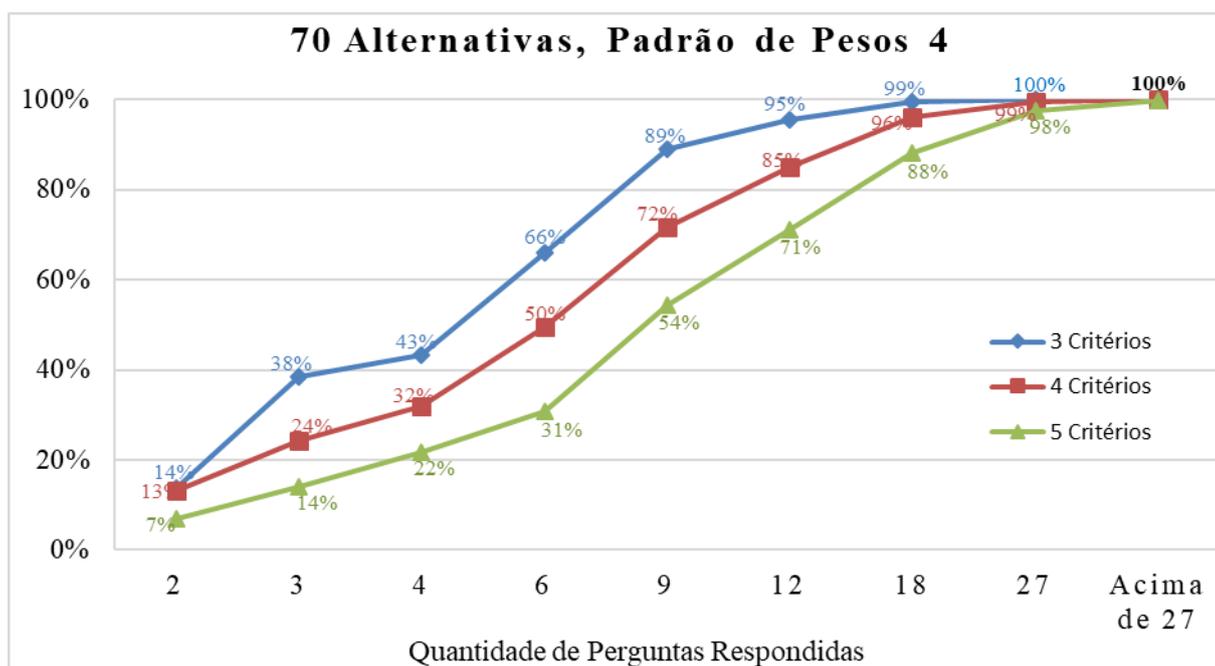


Figura A4.21 – Gráfico dos Resultados Encontrados para Problemas com 70 Alternativas e Padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

APÊNDICE E – COMPARAÇÃO ENTRE OS BENCHMARKS (N-1) E 3*(N-1)

Este apêndice apresenta os resultados exaustivos de cada cenário simulado frente à pergunta: através da análise de dois *benchmarks*, (N-1) e 3*(N-1), quão razoável é afirmar que o FITradeoff resolve problemas com menos perguntas que o Tradeoff tradicional?

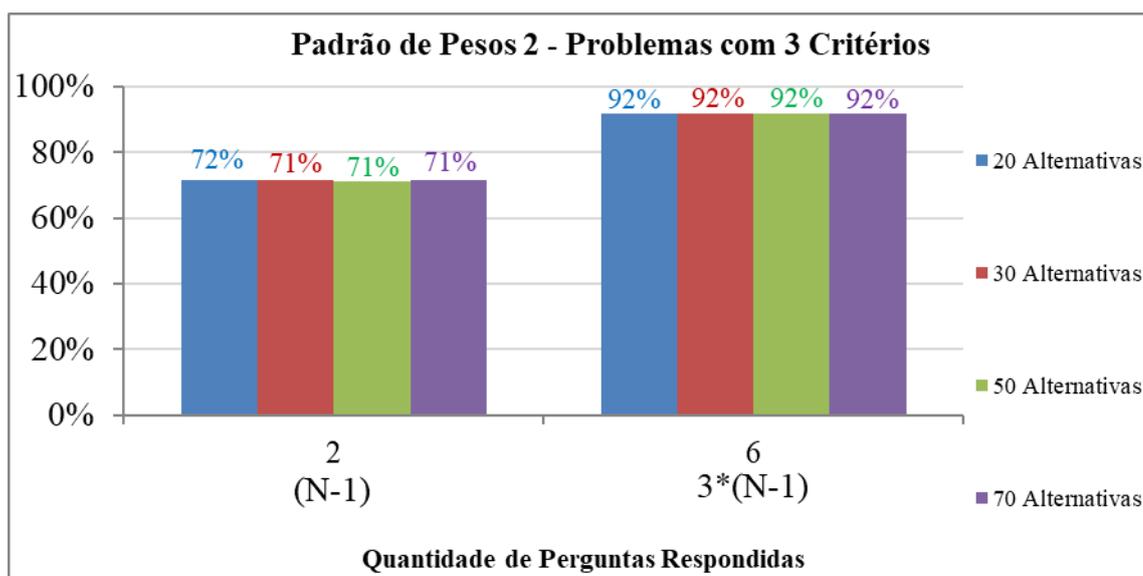


Figura A5.1 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 3 critérios e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

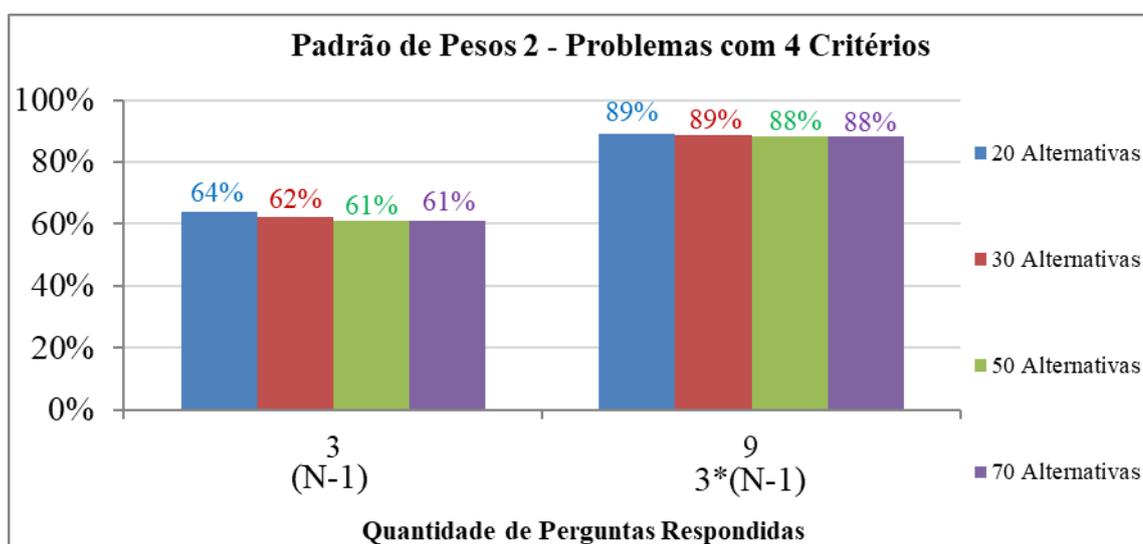


Figura A5.2 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 4 critérios, e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

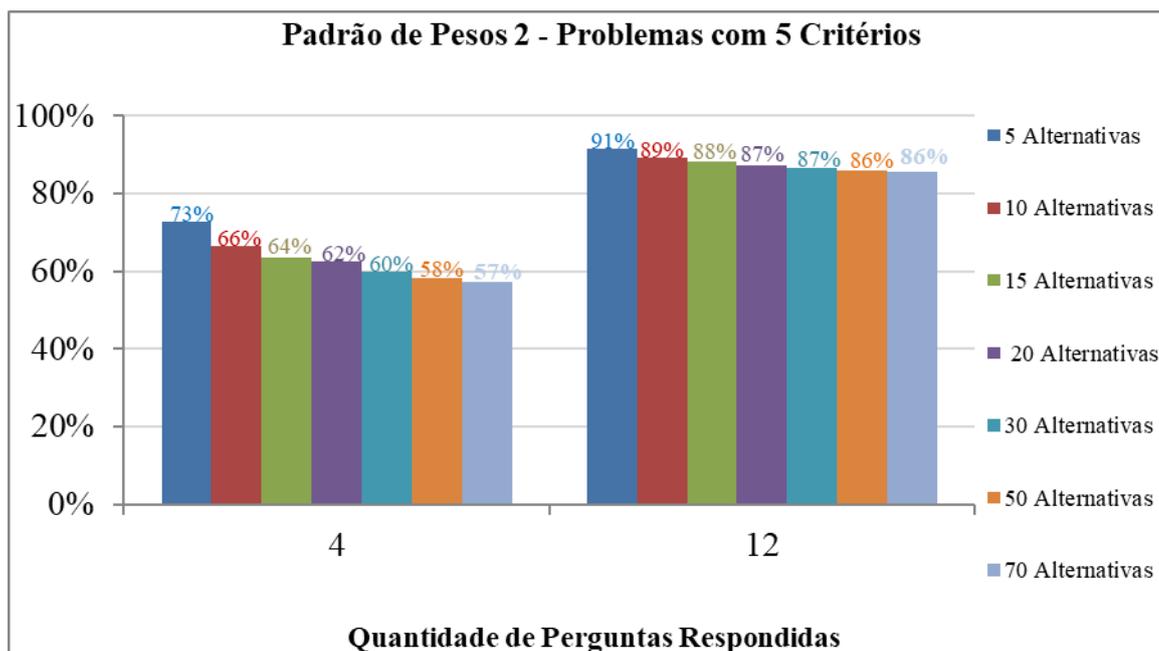


Figura A5.3 – Gráfico da Análise dos benchmarks $(N-1)$ e $3*(N-1)$ para problemas com 5 critérios, e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

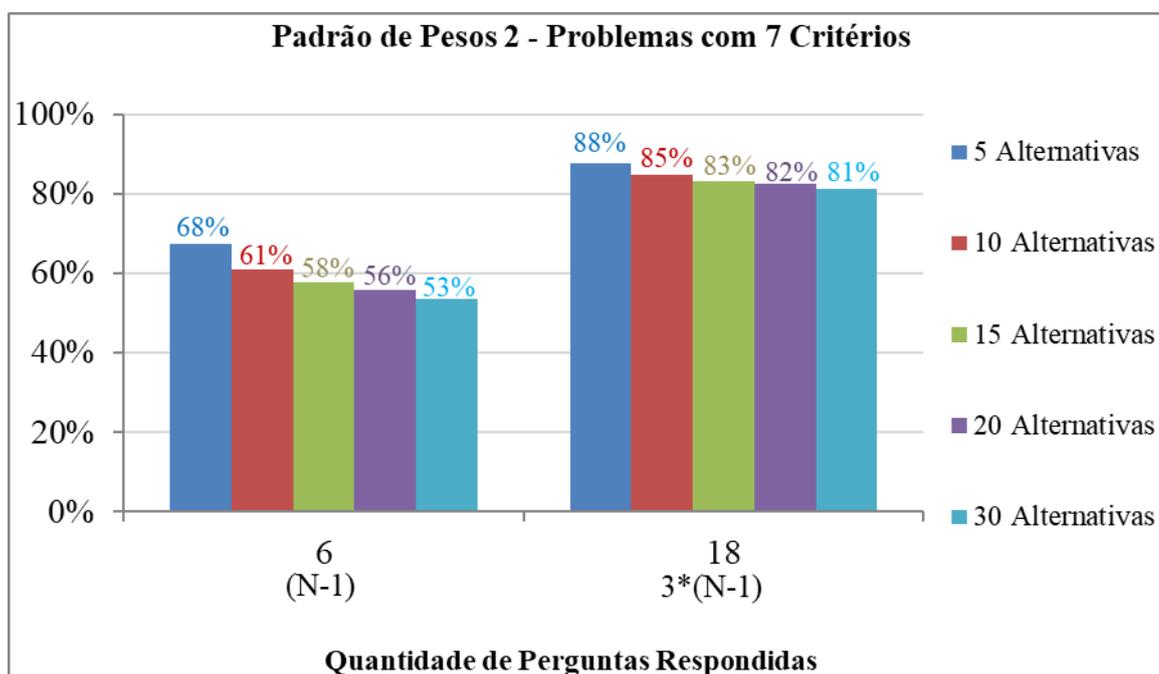


Figura A5.4 – Gráfico da Análise dos benchmarks $(N-1)$ e $3*(N-1)$ para problemas com 7 critérios, e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

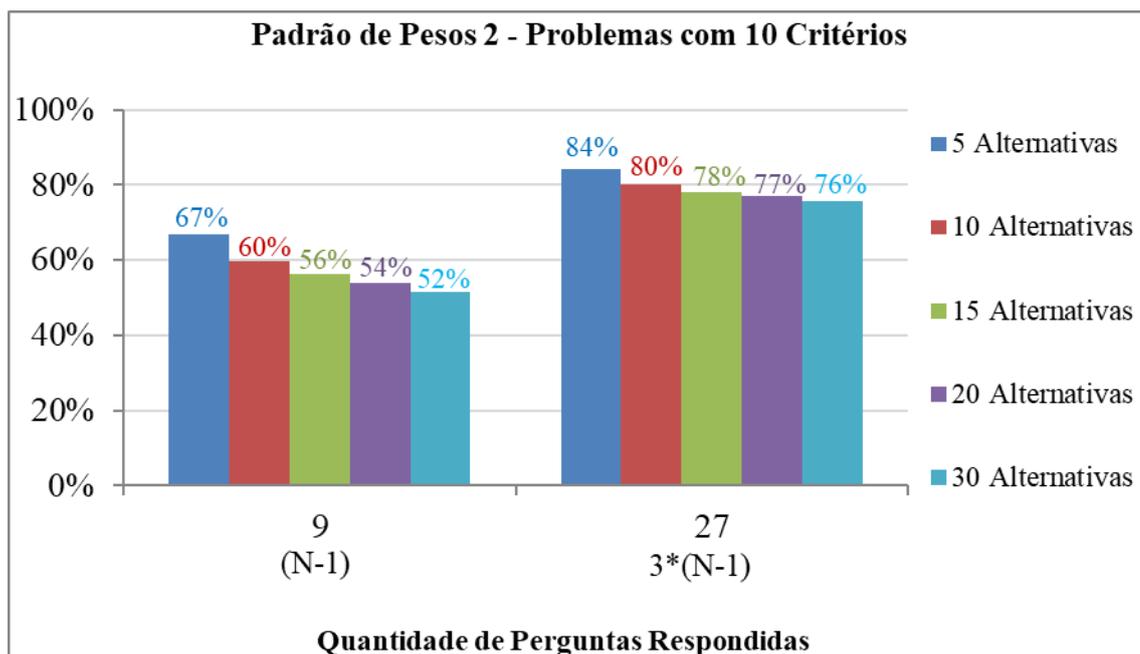


Figura A5.5 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 3 e 4 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

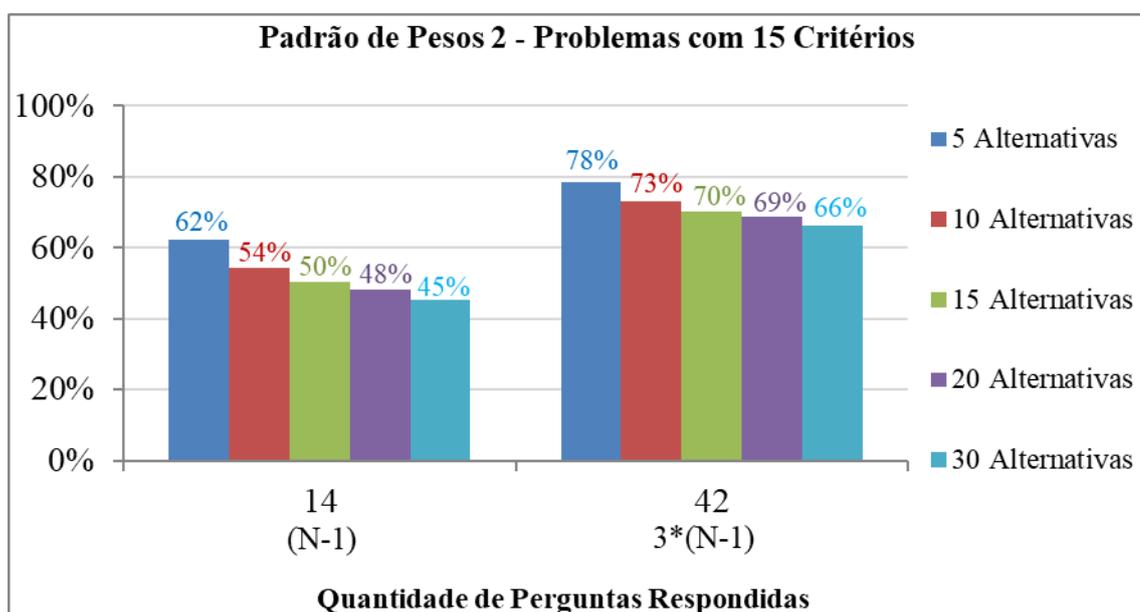


Figura A5.6 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 15 critérios, e padrão de pesos 2. (Esta Pesquisa, 2019)

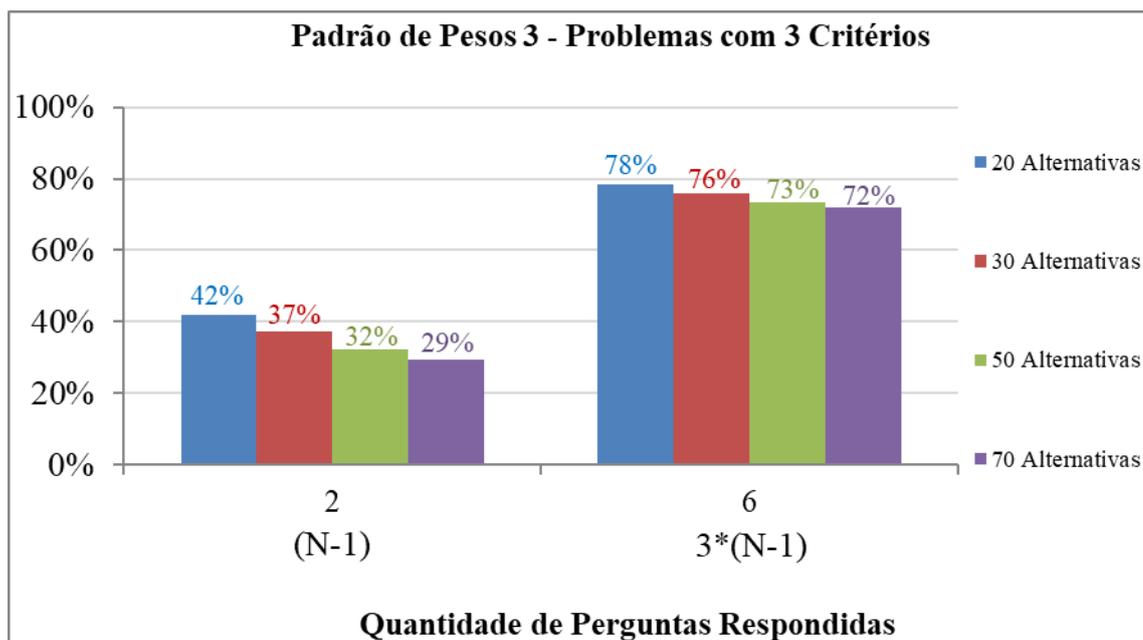


Figura A5.7 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 3 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

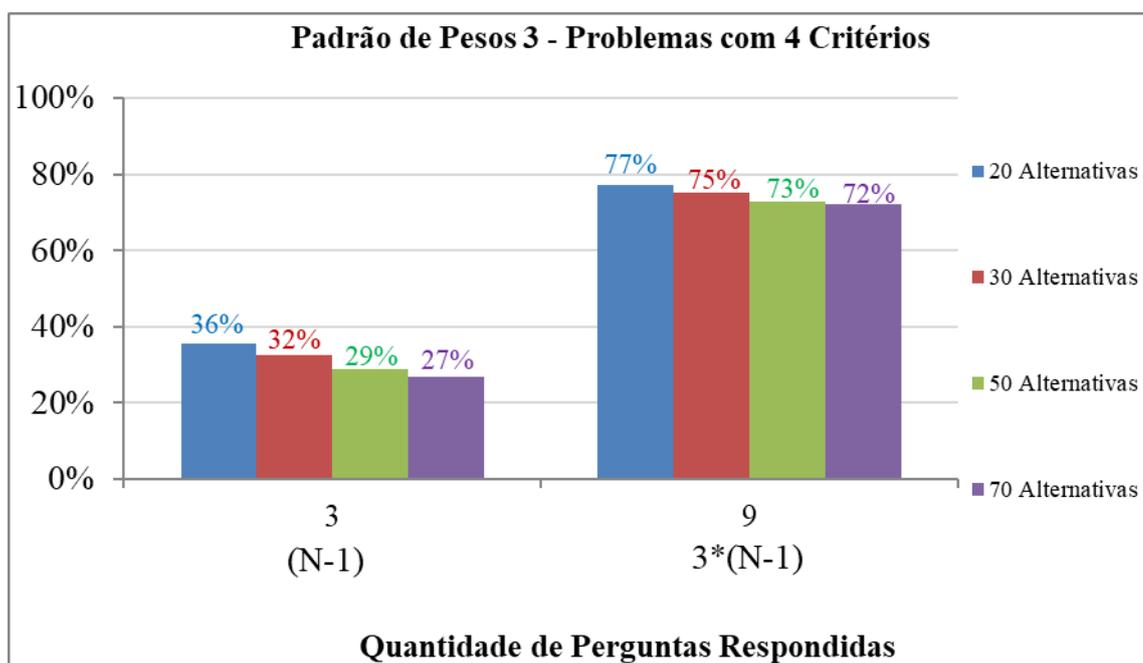


Figura A5.8 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 4 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

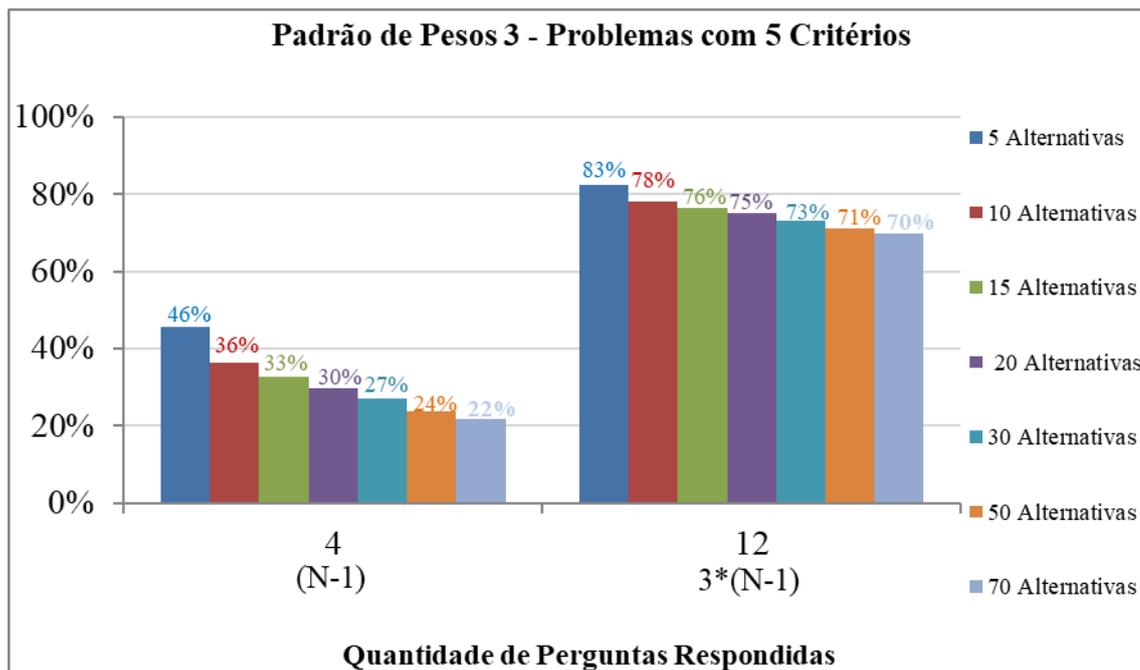


Figura A5.9 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 5 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

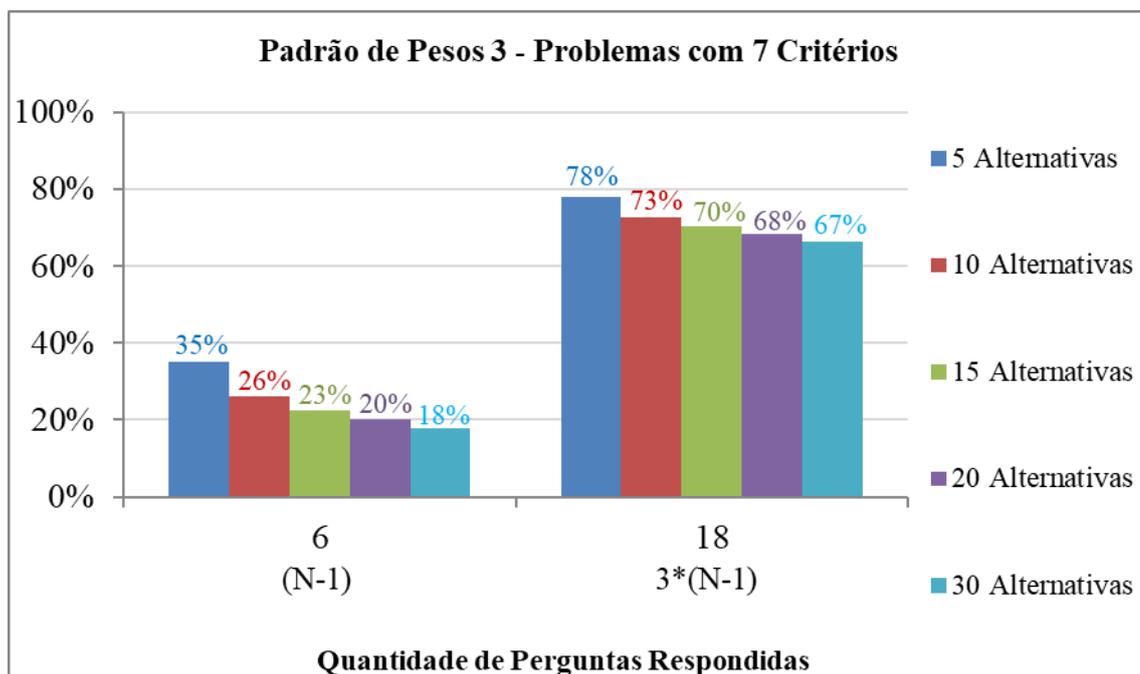


Figura A5.10 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 7 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

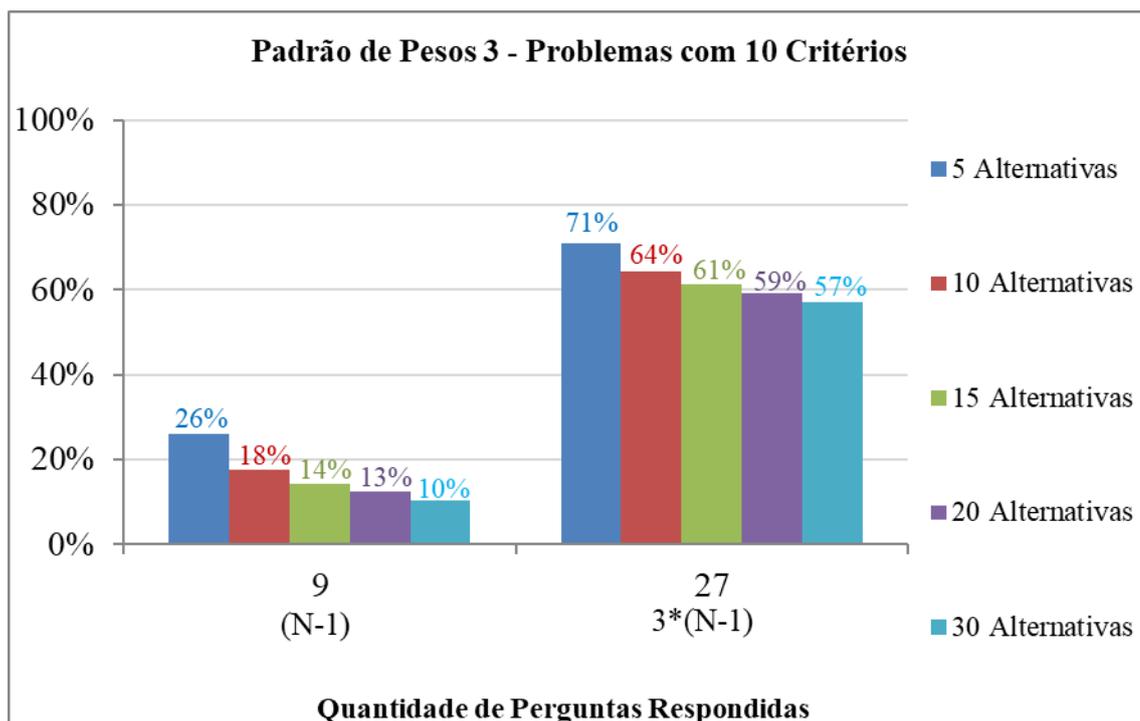


Figura A5.11 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 10 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

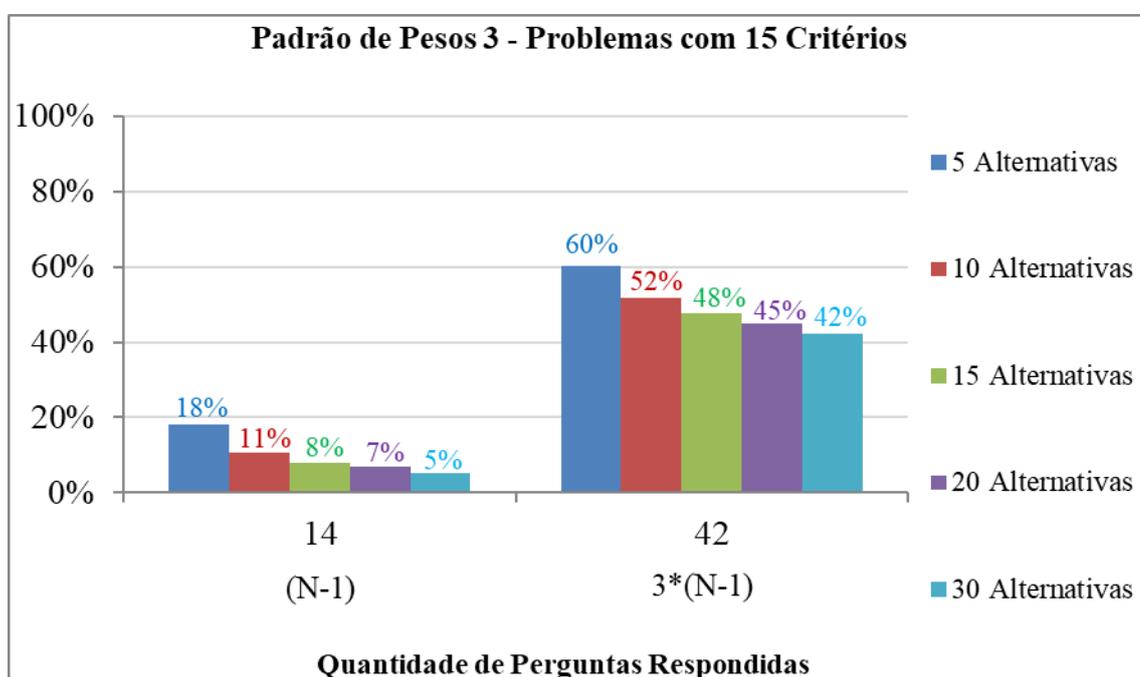


Figura A5.12 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 15 critérios, e padrão de pesos 3. (Esta Pesquisa, 2019)

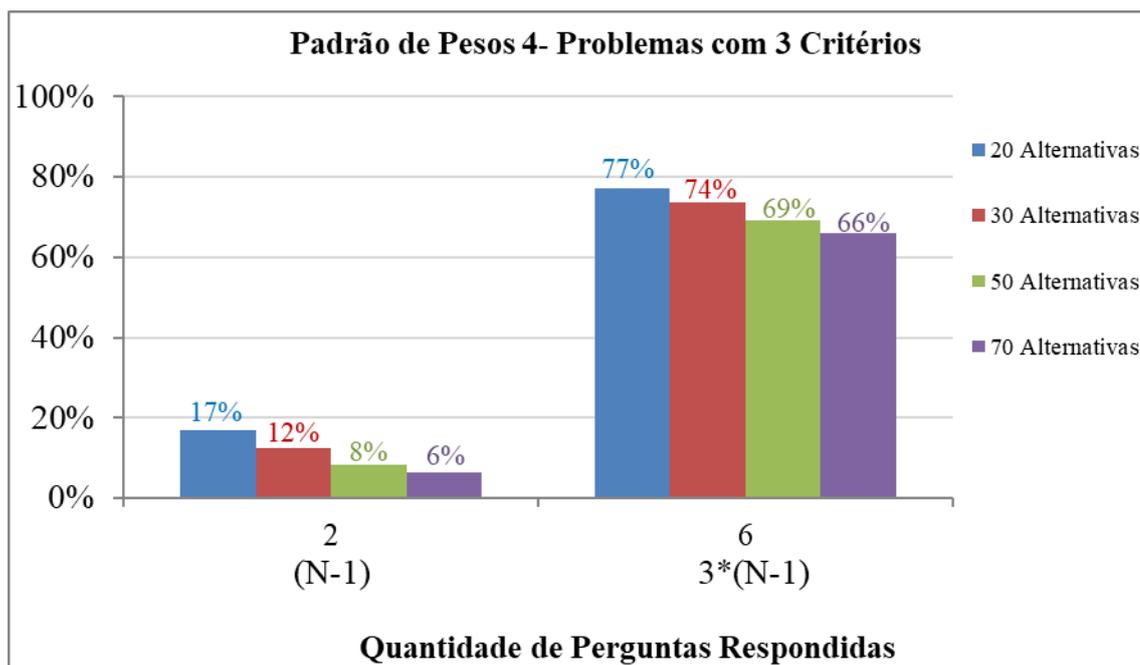


Figura A5.13 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 3 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

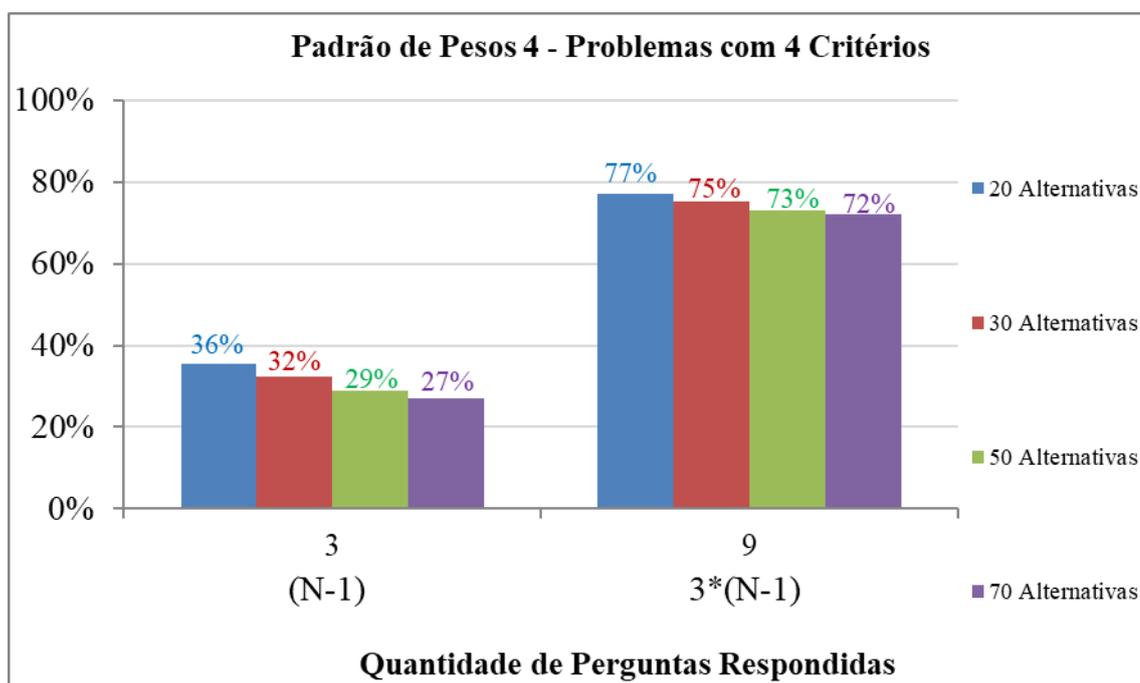


Figura A5.14 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 4 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

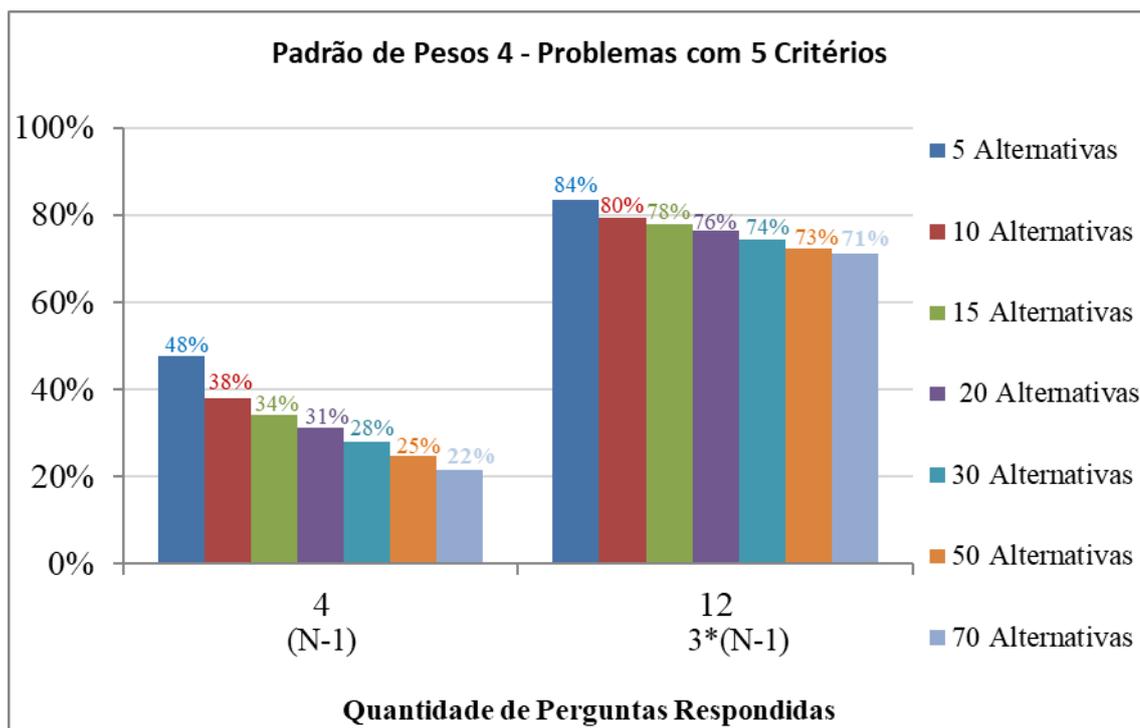


Figura A5.15 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 4 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

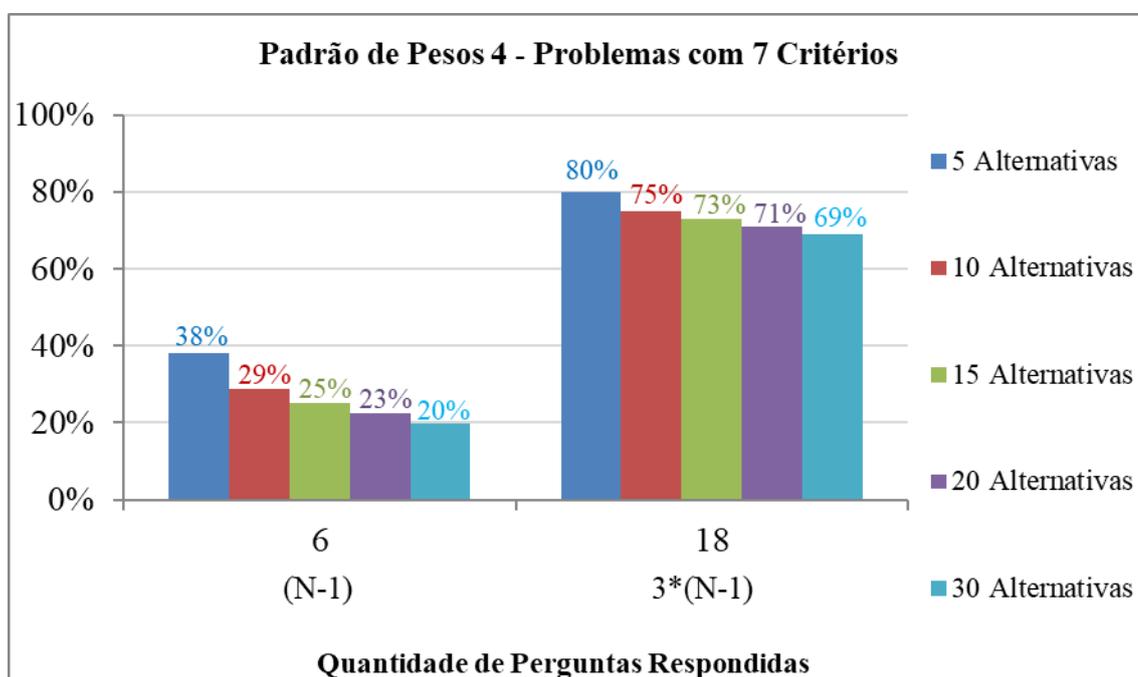


Figura A5.16 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 7 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

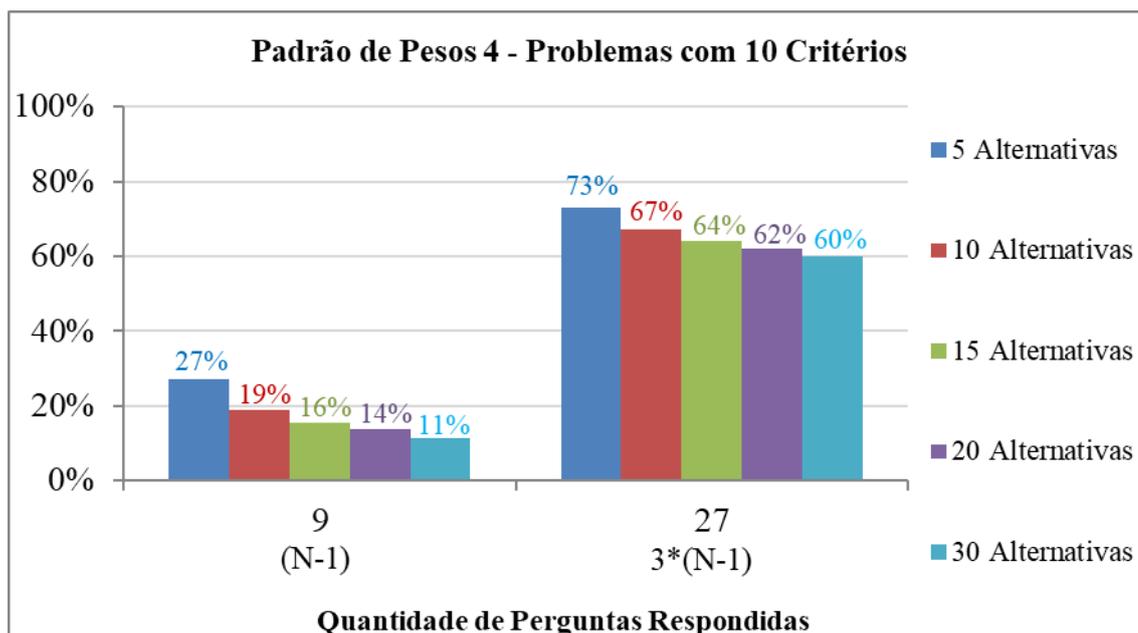


Figura A5.17 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 10 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

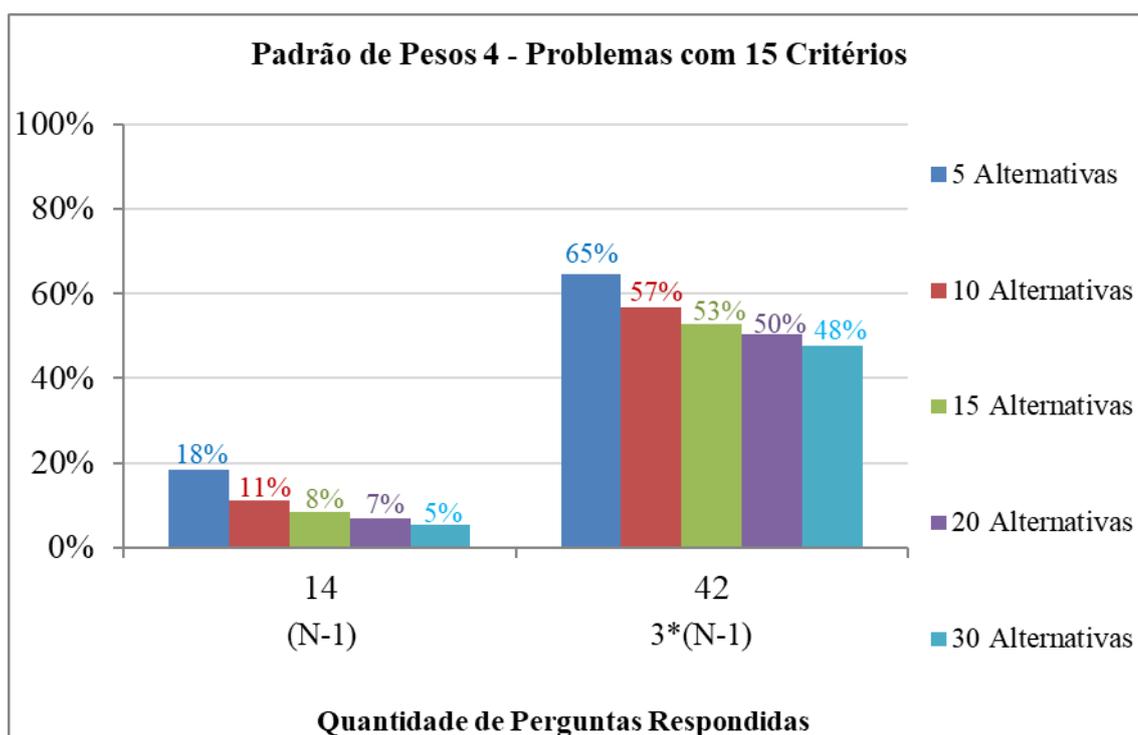


Figura A5.18 – Gráfico da Análise dos benchmarks (N-1) e 3*(N-1) para problemas com 15 critérios, e padrão de pesos 4. (Esta Pesquisa, 2019)

ANEXO A – FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO GRÁFICA

Este anexo apresenta as ferramentas de visualização gráfica do SAD de método FITradeoff. Os gráficos de barras, radar e de bolhas, podem ser utilizados para auxiliar o decisor durante o processo decisório.

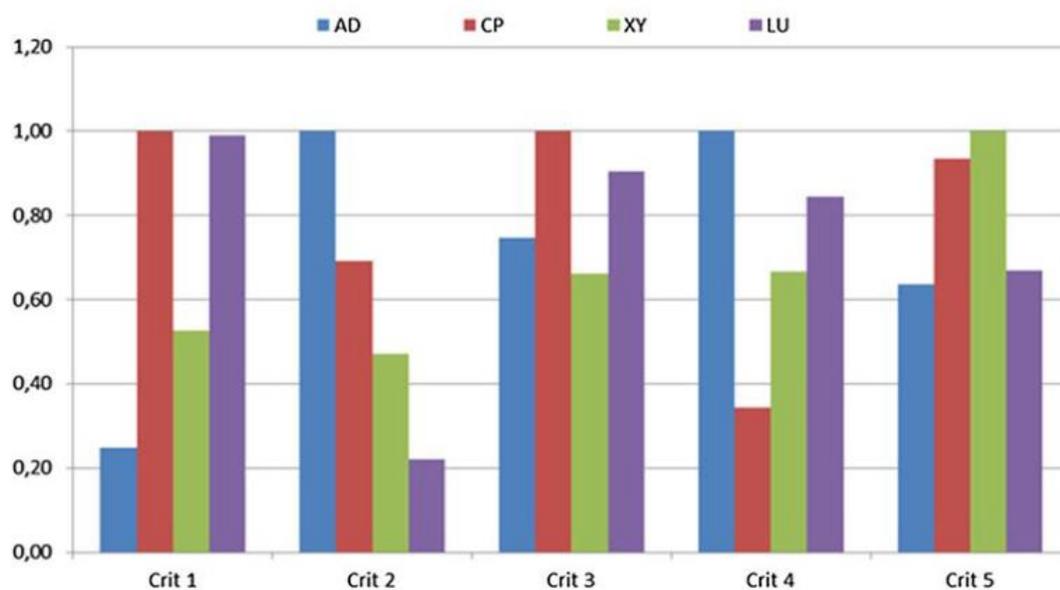


Figura B1 – Exemplo de gráfico de barras do SAD do método FITradeoff (Adaptado de Roselli et al., 2018)

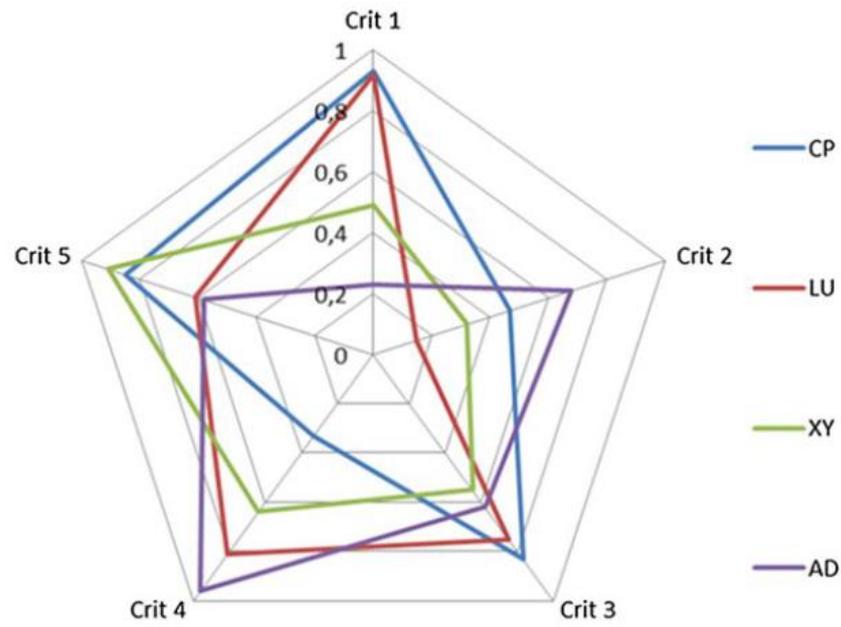


Figura B2 – Exemplo de gráfico radar do SAD do método FITradeoff (Adaptado de Roselli et al., 2018)

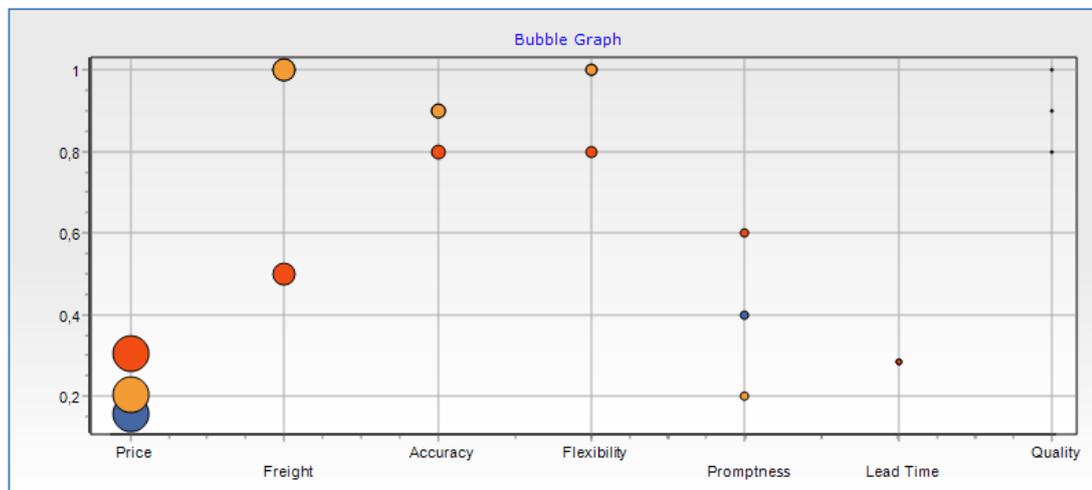


Figura B3 – Exemplo de gráfico de bolhas do SAD do método FITradeoff (Adaptado de <http://fitradeoff.org/teaching-resources/>, 2020)