



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

FRANCISCO AMADEU MONTEIRO DO NASCIMENTO

**MODELO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES
EÓLICOS UTILIZANDO O FITRADEOFF E A TÉCNICA DE LINHA DE
BALANÇO**

Recife

2020

FRANCISCO AMADEU MONTEIRO DO NASCIMENTO

**MODELO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES
EÓLICOS UTILIZANDO O FITRADEOFF E A TÉCNICA DE LINHA DE
BALANÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar.

Recife

2020

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

N244m Nascimento, Francisco Amadeu Monteiro do.
Modelo de seleção de fornecedores na construção de parques eólicos utilizando o FITradeoff e a técnica de linha de balanço / Francisco Amadeu Monteiro do Nascimento. - 2020.
132 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar.
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Seleção de fornecedores. 3. Parques eólicos. 4. Decisão multicritério. 5. Método FITradeoff. 6. Linha de balanço. I. Alencar, Luciana Hazin (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2021-95

FRANCISCO AMADEU MONTEIRO DO NASCIMENTO

**MODELO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES
EÓLICOS UTILIZANDO O FITRADEOFF E A TÉCNICA DE LINHA DE
BALANÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 27 de outubro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Eduarda Asfora Frej (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Hipólito Marcelo Losada López (Examinador Externo)
Energisa SA

Aos meus pais, pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, ao qual permitiu que tudo isso acontecesse, pois em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha esposa, Keivy-Lane Façanha, pelo amor, apoio e dedicação, bem como por estar sempre ao meu lado, motivando-me e dando forças para continuar a caminhada.

Aos meus filhos, Miguel Façanha Monteiro e Tiago Façanha Monteiro, que nasceram durante esta jornada.

Aos meus pais, Eloneida e José Maria, e às minhas irmãs, Helânia e Clébia, pelo apoio em todas as fases da minha vida.

À minha professora orientadora, Dra. Luciana Hazin Alencar, que me orientou, mostrando sempre o melhor caminho, além de contribuir na minha formação acadêmica.

Aos amigos que fiz no Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional (PPGEP), do ano de 2018, por todo o suporte, cumplicidade, conhecimentos compartilhados e momentos de descontração, tão necessários nessa jornada.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem prontamente ao convite e pela honrosa avaliação.

Aos professores e funcionários do PPGEP, pela seriedade e dedicação com que conduzem seus trabalhos, fazendo deste programa uma referência de ensino da qual todos sentem orgulho de fazer parte.

RESUMO

Nos últimos anos, a seleção de fornecedores dentro das organizações tem contribuído diretamente na gestão da cadeia de suprimento e conseqüentemente na entrega do produto final. O objetivo do presente trabalho consiste em propor uma metodologia de seleção de fornecedores para o escopo da construção civil de parques eólicos. A temática é particularmente relevante no cenário brasileiro, pois o setor eólico vem apresentando um crescimento consistente na última década. Esta pesquisa justifica-se por contribuir com a gestão de projetos das organizações do segmento eólico, que tem, em seus contratos de execução, prazos de entregas muitas vezes desafiantes para o atendimento. A metodologia utilizada para a seleção de fornecedores das atividades, críticas e não críticas ao cronograma da obra, foi o método multicritério de apoio à decisão FITradeoff. O FITradeoff compara as preferências do decisor por meio de processo interativo e flexível, com uso de informação parcial mediante perguntas e respostas em que o decisor declara sua preferência entre conseqüências hipotéticas, avaliando *tradeoffs* entre critérios. O modelo proposto acrescenta ao problema da decisão a fase de preparação dos dados de entrada, que consiste na: estruturação do problema; elaboração do cronograma do parque eólico utilizando a técnica da linha de balanço; modelagem do processo produtivo em simulação de evento discreto para fundamentar o prazo da atividade no cronograma; e identificação das atividades críticas e não críticas por intermédio da simulação de Monte Carlo. Foi realizado um estudo de caso em uma empresa do segmento de construção de parque eólico, situada na cidade de Fortaleza, obtendo-se como resultado uma redução de prazo de 139 dias, comparando-se ao planejamento inicial e ganhos financeiros na ordem de 8,58% nas negociações com os fornecedores dos pacotes de serviços não críticos.

Palavras-chave: seleção de fornecedores; parques eólicos; decisão multicritério. método FITradeoff; linha de balanço.

ABSTRACT

In recent years, the selection of suppliers within organizations has directly contributed to the management of the supply chain and consequently in the delivery of the final product. The aim of this work is to propose a supplier selection methodology for the scope of wind farms' civil construction. The theme is particularly relevant in the Brazilian scenario, as the wind sector has been showing consistent growth in the last decade. This research is justified for contributing to the project management of organizations in the wind segment, which has, in its execution contracts, delivery deadlines that are often challenging for service. The methodology used to select suppliers of activities, critical and non-critical to the work schedule, was the multicriteria method to support the FITradeoff decision. The FITradeoff compares the decision maker's preferences through an interactive and flexible process, using partial information through questions and answers in which the decision maker declares his preference among hypothetical consequences, assessing tradeoffs between criteria. The proposed model adds to the decision problem the input data preparation phase, which consists of: problem structuring; preparation of the wind farm schedule using the line of balance technique; modeling of the production process in discrete event simulation to base the activity term on the schedule; and the identification of critical and non-critical activities through Monte Carlo simulation. Case study was carried out in a company in the wind farm construction segment, located in the city of Fortaleza, resulting in a reduction of 139 days, compared to the initial planning and financial gains in the order of 8, 58% in negotiations with suppliers of non-critical service packages.

Keywords: selection of suppliers; wind farms. multicriteria decision; FITradeoff method; balance line.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade instalada acumulada global anual.....	23
Figura 2 – Capacidade instalada (GW) nos principais países.....	24
Figura 3 – Capacidade instalada (GW) de energia eólica no Brasil.....	25
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira.....	25
Figura 5 – Projeção da capacidade instalada de energia eólica brasileira.....	27
Figura 6 – Perfis de consequência.....	34
Figura 7 – Perfis de consequência primeira sensibilização.....	35
Figura 8 – Perfis de consequência segunda sensibilização.....	36
Figura 9 – Relação entre quantidades da LOB e o tempo.....	39
Figura 10 – Sincronização e continuidade das equipes de trabalho.....	40
Figura 11 – Duração de uma atividade repetitiva ao longo de todas as unidades.....	41
Figura 12 – Relacionamento de atividades início-início.....	42
Figura 13 – Relacionamento de atividades término-término.....	42
Figura 14 – Projeto de fundação direta.....	52
Figura 15 – Projeto de fundação estacada.....	52
Figura 16 – Modelo proposto para seleção de fornecedores.....	54
Figura 17 – Primeira simulação de prazo dos pacotes de serviços.....	61
Figura 18 – Interligação das atividades do mesmo pacote de serviço.....	61
Figura 19 – Duração dos pacotes de serviços.....	62
Figura 20 – Resultado da linha de balanço.....	62
Figura 21 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 1.....	64
Figura 22 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 2.....	65
Figura 23 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 3.....	66
Figura 24 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 4.....	67
Figura 25 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 5.....	68
Figura 26 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 6.....	69
Figura 27 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 7.....	70
Figura 28 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 8.....	71
Figura 29 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 9.....	72
Figura 30 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 10.....	73
Figura 31 – Taxa de utilização dos recursos após simulação dos processos.....	74
Figura 32 – Cronograma dos pacotes no @RISK.....	77

Figura 33 – Resultados da simulação para a duração total do projeto.....	77
Figura 34 – Ordenação dos pacotes críticos ao cronograma.....	78
Figura 35 – Alternativas para seleção de fornecedores de parques eólicos.....	79
Figura 36 – Associação entre atributos e alternativas para seleção de fornecedores de parques eólicos.....	80
Figura 37 – Tela inicial do FITradeoff.....	86
Figura 38 – Ordenação das preferências dos critérios de escala do Pacote de Serviço 1 no FITradeoff.....	87
Figura 39 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 2 no FITradeoff.....	87
Figura 40 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 3 no FITradeoff.....	88
Figura 41 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 4 no FITradeoff.....	89
Figura 42 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 5 no FITradeoff.....	89
Figura 43 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 6 no FITradeoff.....	90
Figura 44 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 7 no FITradeoff.....	91
Figura 45 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 8 no FITradeoff.....	91
Figura 46 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 9 no FITradeoff.....	92
Figura 47 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 10 no FITradeoff.....	93
Figura 48 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 1	94
Figura 49 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 1	95
Figura 50 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 2	96
Figura 51 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 2	97

Figura 52 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 3	98
Figura 53 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 3	99
Figura 54 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 4	100
Figura 55 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 4	101
Figura 56 – Solução ótima do Pacote de Serviço 5 no FITradeoff	102
Figura 57 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 6	102
Figura 58 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 6	103
Figura 59 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 7	104
Figura 60 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 7..	105
Figura 61 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 8	106
Figura 62 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 8	107
Figura 63 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 9	108
Figura 64 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 9	109
Figura 65 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 10	

.....	110
Figura 66 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 10.	
.....	111
Figura 67 – Gráfico das constantes de escala para os pacotes críticos.....	116
Figura 68 – Gráfico das constantes de escala para os pacotes não críticos.....	117
Figura 69 – Espaço das constantes de escala.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis conhecimento técnico.....	56
Quadro 2 – Níveis de políticas de SMS.....	56
Quadro 3 – Resumo dos critérios.....	57
Quadro 4 – Ordem de criticidade após simulação de Monte Carlo.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Capacidade instalada e número de parques por estado.....	26
Tabela 2	– Matriz de consequência para seleção de fornecedores.....	33
Tabela 3	– Matriz de decisão para seleção de fornecedores.....	33
Tabela 4	– Definição dos pacotes de serviço para a construção de uma base.....	58
Tabela 5	– Duração dos pacotes de serviços.....	59
Tabela 6	– Quantidade de serviços e mão de obra.....	60
Tabela 7	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 1.....	64
Tabela 8	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 2.....	65
Tabela 9	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 3.....	66
Tabela 10	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 4.....	67
Tabela 11	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 5.....	68
Tabela 12	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 6.....	69
Tabela 13	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 7.....	70
Tabela 14	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 8.....	71
Tabela 15	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 9.....	72
Tabela 16	– Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 10.....	73
Tabela 17	– Tempo de execução dos pacotes de serviços após a simulação do processo....	74
Tabela 18	– Dados de entrada.....	76
Tabela 19	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 1.....	81
Tabela 20	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 2.....	81
Tabela 21	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 3.....	81
Tabela 22	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 4.....	82
Tabela 23	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 5.....	82
Tabela 24	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 6.....	82
Tabela 25	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 7.....	83
Tabela 26	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 8.....	83
Tabela 27	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 9.....	83
Tabela 28	– Matriz de consequência do Pacote de Serviço 10.....	84
Tabela 29	– Matriz de decisão.....	85
Tabela 30	– Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 1.....	112

Tabela 31 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 2.....	112
Tabela 32 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 3.....	112
Tabela 33 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 4.....	112
Tabela 34 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 5.....	113
Tabela 35 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 6.....	113
Tabela 36 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 7.....	113
Tabela 37 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 8.....	113
Tabela 38 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 9.....	114
Tabela 39 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 10.....	114
Tabela 40 – Valores estatísticos das constantes de escala para os pacotes críticos.....	115
Tabela 41 – Valores estatísticos das constantes de escala para os pacotes não críticos.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AHP	Analytic hierarchy process
AMD	Apoio multicritério à decisão
CDSID	Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão
CPM	Critical path method (em português, método do caminho crítico)
DEA	Data envelopment analysis (em português, análise envoltória de dados)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FITradeoff	Flexible and Interactive Tradeoff
Gert	Graphic Evaluation And Review Technique
GWEC	Global Wind Energy Council
HCM	Hélice contínua monitorada
ICW	Interval criterion weights
LOB	Linha de balanço
MAUT	Multi-attribute utility theory (em português, teoria da utilidade multiatributo)
Máx.	Máximo
MCDA	Multicriteria Decision Aid
Mín.	Mínimo
MOLP	Multi-objective linear programming
n.	Número
PDI	Primeira data de início
PDT	Primeira data de término
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PLL	Problema de programação linear
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Quant.	Quantidade
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SED	Simulação de eventos discretos
SMART	Simple multiattribute rating technique
SMS	Segurança Meio Ambiente e Saúde
STEM	Step method
TCO	Total cost of ownership (em português, custo total de propriedade)

TOPSIS	Technique for order preference by similarity to ideal solution
TRIMAP	Método de aprendizagem em programação linear tricritério
UDI	Última data de início
UDT	Última data de término
Vert	Venture Evaluation And Review Technique

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO	21
1.3.1	Objetivo geral	21
1.3.2	Objetivos específicos.....	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1	O SETOR EÓLICO	23
2.2	SELEÇÃO DE FORNECEDORES.....	27
2.2.1	Visão geral.....	27
2.2.2	Métodos de seleção de fornecedores	28
2.2.3	Seleção de fornecedores utilizando métodos multicritério	28
2.3	DECISÃO MULTICRITÉRIO	29
2.3.1	Visão geral.....	29
2.3.2	Problemáticas de decisão	30
2.3.3	Principais abordagens dos métodos multicritérios.....	30
2.3.3.1	Métodos de agregação a critério único de síntese	30
2.3.3.2	Abordagem sobreclassificação ou subordinação.....	31
2.3.3.3	Métodos interativos	31
2.3.4	Método FITradeoff.....	32
2.4	TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO.....	37
2.4.1	Visão geral.....	37
2.4.2	Técnicas de programação	37
2.4.3	Linha de balanço (LOB)	38
2.5	SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM PROJETOS	44
2.5.1	Simulação de Monte Carlo	45
2.6	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	45
2.6.1	Estudos desenvolvidos relacionados à seleção de fornecedores.....	45
2.6.2	Seleção de fornecedores com decisão multicritério	46
2.6.3	Programação de projetos aplicando a técnica de linha de balanço	47
2.6.4	Programação de projetos com simulação.....	48
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	49

3	MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS.....	51
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E CARACTERIZAÇÃO DAS FUNDAÇÕES DOS AEROGERADORES NO PROBLEMA DE DECISÃO	51
3.2	MODELO PROPOSTO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS.....	53
3.2.1	Estágio 1 – Estruturação do problema].....	54
3.2.2	Estágio 2 – Construção da LOB	58
3.2.3	Estágio 3 – Aplicação da simulação de evento discreto.....	63
3.2.4	Estágio 4 – Identificação dos pacotes críticos	75
3.2.5	Estágio 5 – Seleção de fornecedores	79
3.2.5.1	Matriz de consequência	79
3.2.5.2	Escolha do método multicritério utilizado	84
3.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	114
4	CONCLUSÕES.....	120
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
4.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	121
	REFERÊNCIAS.....	122
	APÊNDICE A – MATRIZ DE DECISÃO DOS PACOTES DE SERVIÇOS	129

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresentam-se a contextualização do trabalho, a justificativa da pesquisa, os objetivos e a estrutura desta dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A energia elétrica é de grande importância para desenvolvimento industrial e social. É por meio dessa energia que se faz possível a utilização de novas tecnologias para o desenvolvimento mundial. Os modelos de geração de energia elétrica mais utilizados no mundo têm gerado diversos problemas ambientais e sociais, tendo como principal fonte de energia os combustíveis fósseis, mais especificamente o petróleo. As fontes de energia elétrica não renováveis geram preocupação na sociedade, que impulsionou, de certo modo, a procura por novas fontes energéticas, de baixo impacto ambiental. Dentre elas, destaca-se a energia proveniente dos ventos, denominada energia eólica.

O Brasil lançou, em 2004, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). O principal intuito desse programa era fomentar a diversificação da matriz energética brasileira, por meio de incentivos e da possibilidade do rateio dos custos de produção da energia entre as classes de consumidores finais, dando ao produtor a garantia de compra da energia produzida (BRASIL, 2008).

Conforme balanço energético nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE], 2020), outras fontes de energia elétrica renováveis representam 7%, dos quais 23,2% são de origem eólica. A organização em estudo neste trabalho está inserida no mercado de construção civil de parques eólicos, onde é responsável pela execução das estradas internas e das bases de sustentação dos aerogeradores.

Na etapa de construção de usinas eólicas, firmam-se os contratos de execução entre as empresas proprietárias do empreendimento e as construtoras do escopo de construção civil. Werremeyer (2006) explica que o contrato é um acordo escrito que define claramente as responsabilidades e obrigações de cada parte. Assim, o instrumento contratual pode ser considerado uma lei estabelecida entre as empresas contratantes e contratadas.

No contrato de fornecimento dos serviços do escopo civil, definem-se o local de instalação, a potência a ser instalada, as características necessárias para a construção dos acessos internos e externos, assim como as quantidades de bases de sustentação dos

aerogeradores. Tudo isso respeitando os parâmetros necessários definidos pelo fabricante do aerogerador e as condicionantes ambientais.

Os prazos das entregas dos parques eólicos são estabelecidos com a definição dos marcos contratuais, que estão condicionados à data de operação comercial. Sendo assim, faz-se necessário o gerenciamento do projeto de construção civil para que não haja atrasos, interferindo no processo de montagem e operação. Assegura-se que o planejamento e a execução da obra ocorram em um prazo adequado entre as partes.

A competitividade entre as empresas de construção civil para a execução de parques eólicos exige a aplicação de metodologias de gerenciamento de projetos eficientes que proporcionem um planejamento, um cronograma bem estruturado e um controle eficiente sobre a gestão dos processos de construção do empreendimento eólico.

Aliada a esses processos, a gestão de suprimentos desempenha um papel fundamental na construção civil dos parques eólicos, iniciando com a seleção adequada de seus fornecedores. Com base no cronograma executivo, é possível programar, de maneira antecipada, as compras a serem realizadas, ação esta que parte da seleção adequada dos fornecedores das atividades, sejam elas críticas ou não ao empreendimento. Quanto mais assertiva a corporação for nesta seleção, maiores serão os benefícios gerados ao projeto.

1.2 JUSTIFICATIVA

As empresas contratadas para a execução civil dos parques eólicos necessitam de um sistema eficaz de gerenciamento de projetos, com um planejamento de obra que retrate a execução das atividades e obedeça aos prazos estabelecidos nos marcos contratuais, pois quando a culpa pelo atraso for da empresa construtora, esta não terá direito a qualquer ressarcimento pelas despesas extraordinárias. A empresa construtora também fica sujeita à aplicação de multas diárias pelo atraso na entrega do empreendimento eólico, podendo, a depender do contrato, serem feitas até mesmo retenções de pagamento.

Ultimamente, uma das práticas utilizadas na empresa analisada para a elaboração de planejamento de parques eólicos é a utilização da técnica de redes PERT/CPM (em inglês: *Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method*). Entretanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens, tais como:

- a) a rede resultante do planejamento é muito extensa, dificultando a leitura em razão do grande número de atividades e de inter-relacionamentos;
- b) dificuldades de reprogramação do cronograma das atividades em atraso;

- c) os tempos resultantes para execução de algumas atividades são considerados pequenos, em consequência disto, verifica-se a necessidade de um acompanhamento e controle do andamento destas atividades de pequenas durações, praticamente impossibilitando, ou tornando ineficiente.

Essas simplificações de prazo, normalmente, geram previsões incorretas para o prazo necessário de execução de um projeto de parque eólico.

Para construções que tenham características lineares e de serviços repetitivos, como a construção civil de parques eólicos, a técnica de programação indicada é a linha de balanço (LOB) (AL SARRAJ, 1990). Os benefícios da utilização dessa metodologia se caracterizam por apresentar a programação de forma gráfica e de fácil interpretação. Com essa técnica é possível detectar os gargalos futuros, dentre os quais seja possível ajustar as taxas de produção, possibilitando a redução do prazo de conclusão da atividade.

O sucesso de qualquer técnica de planejamento, contudo, está atrelado à associação de uma gestão de processos que garanta não só a eficiência, como também a eficácia do sistema de produção da construção. Dessa maneira, este estudo associou a aplicação da técnica da LOB ao:

- a) processo de simulação de eventos discretos (SED), que é a modelagem de um sistema real para determinar seu comportamento diante dos cenários aplicados em sua estrutura, como produtividade das equipes, incertezas, entre outros;
- b) processo de seleção de fornecedores por meio de abordagem multicritério, levando em consideração diversos fatores que têm influência na construção, além do preço, tais como: capacidade técnica, localização do fornecedor, critérios de segurança do trabalho e projetos já realizados no segmento. Nesse processo, os fornecedores selecionados estão diretamente relacionados com a capacidade de planejamento do empreendimento eólico.

Vale ressaltar que as preferências do decisor poderão ser afetadas conforme a criticidade da atividade informada pelo cronograma da obra. A importância do assunto é contribuir com a literatura acadêmica de engenharia, para auxiliar as empresas a otimizarem seu processo de planejamento diante das novas construções de fontes de energias renováveis a serem instaladas no Brasil.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

A seguir, são apresentados os objetivos geral e específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Propor um modelo de seleção de fornecedores, utilizando a decisão multicritério com o auxílio do cronograma desenvolvido pela técnica da linha de balanço (LOB) na construção de parques eólicos.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar, na literatura, os trabalhos desenvolvidos relacionados à seleção dos fornecedores;
- b) Estruturar o problema de seleção de fornecedores na empresa;
- c) Identificar melhorias no processo de seleção e fornecedores;
- d) Identificar ferramentas e técnicas a serem utilizadas para a melhoria do processo;
- e) Identificar a criticidade dos principais pacotes de serviço na execução e/ou conclusão das atividades programadas;
- f) Identificar os atributos utilizados na seleção dos fornecedores conforme o julgamento do decisor.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, detalhados a seguir.

No primeiro capítulo, tem-se uma breve apresentação da dissertação, onde se destacam as motivações do trabalho e a relevância e contribuição do estudo. Também são apresentados os objetivos gerais e específicos, bem como o problema a ser estudado.

O segundo capítulo apresenta a base conceitual de fundamentação do trabalho, abordando os temas que tratam da seleção de fornecedores, da decisão multicritério com informações sobre o método FITradeoff e das técnicas de planejamento. O capítulo versa sobre os trabalhos mais relevantes a respeito da seleção de fornecedores, utilizando métodos de decisão multicritérios, programação de projetos com suporte na técnica da LOB, assim como modelos de simulação em programação de projetos.

No terceiro capítulo, é proposto um modelo de seleção de fornecedores com aplicação em uma empresa do setor de construção civil de parques eólicos, onde são apresentadas as análises realizadas e seus resultados.

O quarto capítulo expõe as conclusões do presente estudo e as sugestões para trabalhos futuros.

Na parte final do trabalho, encontram-se o referencial bibliográfico e apêndice.

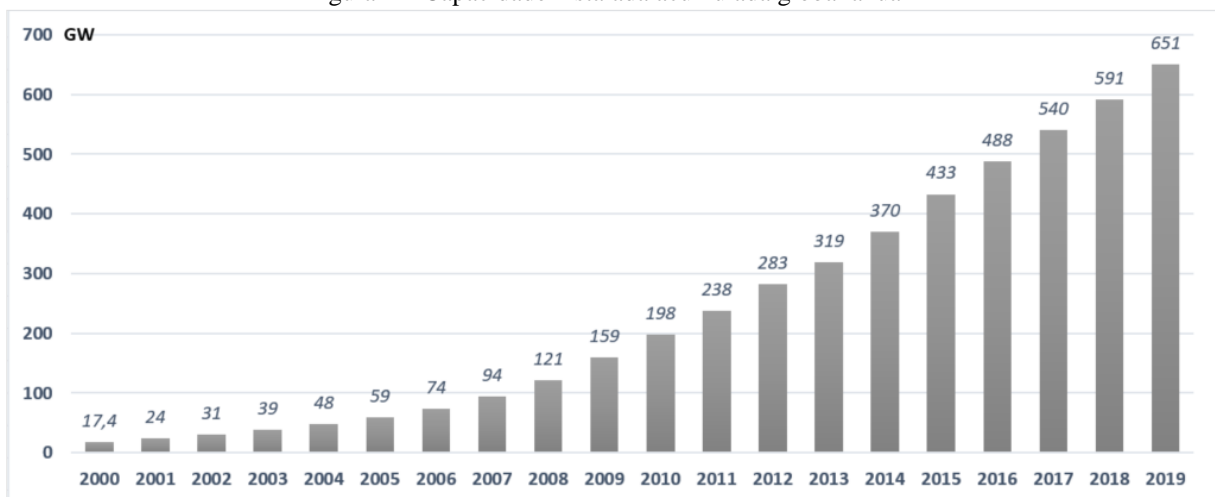
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral do setor eólico, que é alvo do estudo desenvolvido nesta dissertação. Também são exibidos conceitos relacionados à seleção de fornecedores, à decisão multicritério, às técnicas de planejamento e às simulações de evento discreto, necessários para o entendimento deste trabalho.

2.1 O SETOR EÓLICO

Durante os anos de 2000 a 2019, o setor de energia eólica atingiu sua maturidade tecnológica no cenário global, o que permitiu sua consolidação como fonte de energia alternativa diante das energias tradicionais existentes no mercado. A Figura 1 mostra tal evolução.

Figura 1 – Capacidade instalada acumulada global anual

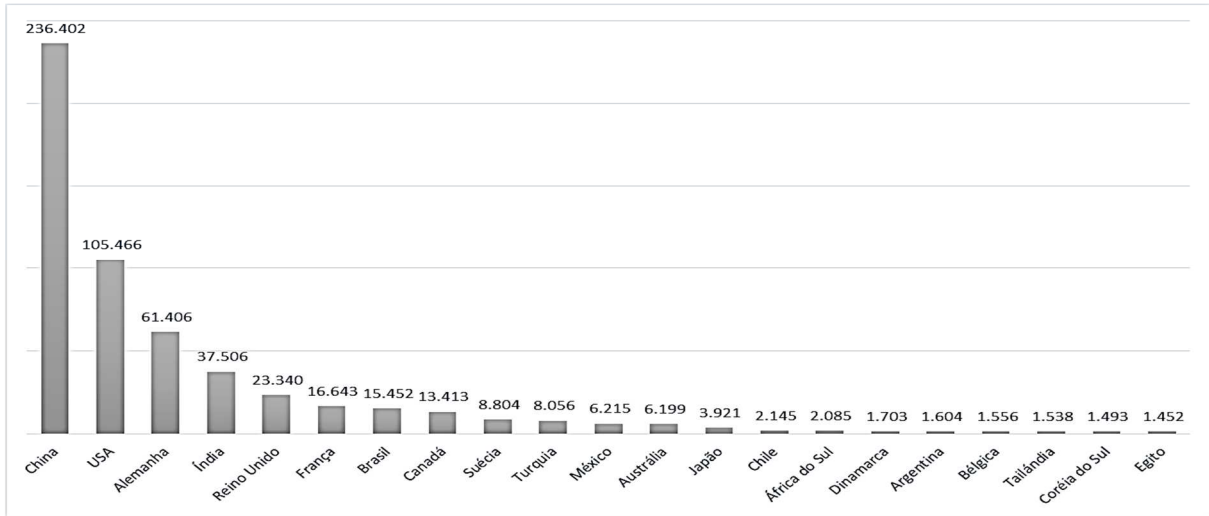


Fonte: Adaptada de GWEC (2020).

Segundo dados da *Global Wind Energy Council* (GWEC), a capacidade mundial de energia eólica instalada alcançou 651 GW no ano de 2019. Os 60 GW adicionados em 2019 resultaram em um aumento de 9% sobre os 591 GW instalados até o final do ano de 2018 (GWEC, 2020).

O continente asiático liderou o crescimento ao instalar 34 GW do total de 60 GW inseridos no ano de 2019. Só a China contribuiu com 29,5 GW (GWEC, 2020). A Figura 2, a seguir, mostra a potência instalada nos principais países produtores de energia eólica.

Figura 2 – Capacidade instalada (GW) nos principais países

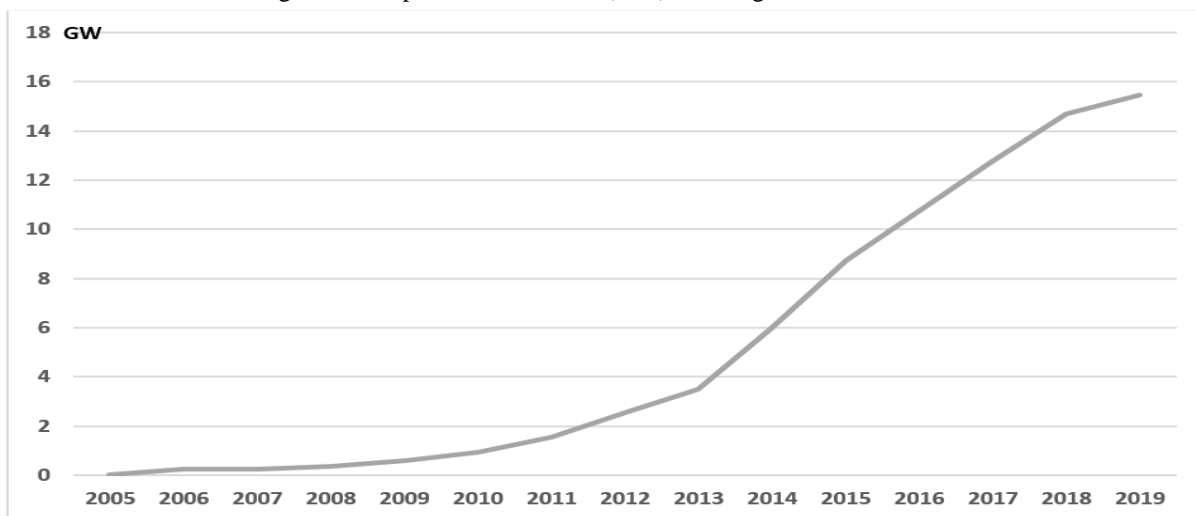


Fonte: Adaptada de GWEC (2020).

No Brasil, o setor de energia eólica apresentou crescimento significativo nos últimos anos; destaque para as políticas de incentivos governamentais em ampliar sua participação na matriz energética. Apresentam-se, historicamente, o PROINFA e o modelo de leilões de energia, como o Leilão de Energia de Reserva e o Leilão de Fontes Alternativas (PINTO, 2013).

O ano de 2019 foi de destaque para o mercado de energia eólica no Brasil, marcando 10 anos desde o primeiro leilão específico da tecnologia eólica no País. O modelo de leilão altamente eficiente e competitivo do Brasil levou a capacidade instalada da energia eólica a crescer de cerca de 745 MW a um total de 15,4 GW na última década, conforme dados da Figura 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA [ABEEólica], 2020).

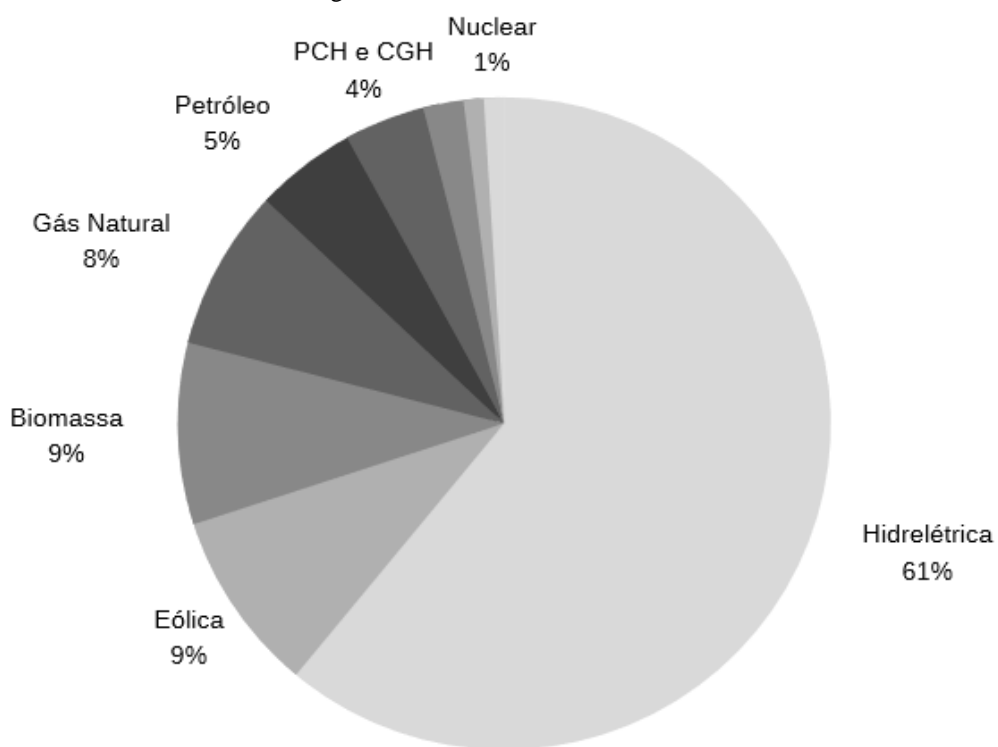
Figura 3 – Capacidade instalada (GW) de energia eólica no Brasil



Fonte: ABEEólica (2020).

Dessa maneira, a energia eólica passa a ter caráter gradualmente mais representativo dentro da matriz elétrica brasileira, a qual é majoritariamente hídrica. Dados da matriz energética brasileira são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Matriz elétrica brasileira



Fonte: ABEEólica (2020).

O tamanho da indústria eólica brasileira compreende 624 parques eólicos implantados, com 7.621 aerogeradores em operação em 12 estados, distribuídos conforme os dados apresentados na Tabela 1 (ABEEÓLICA, 2020).

Tabela 1 – Capacidade instalada e número de parques por estado

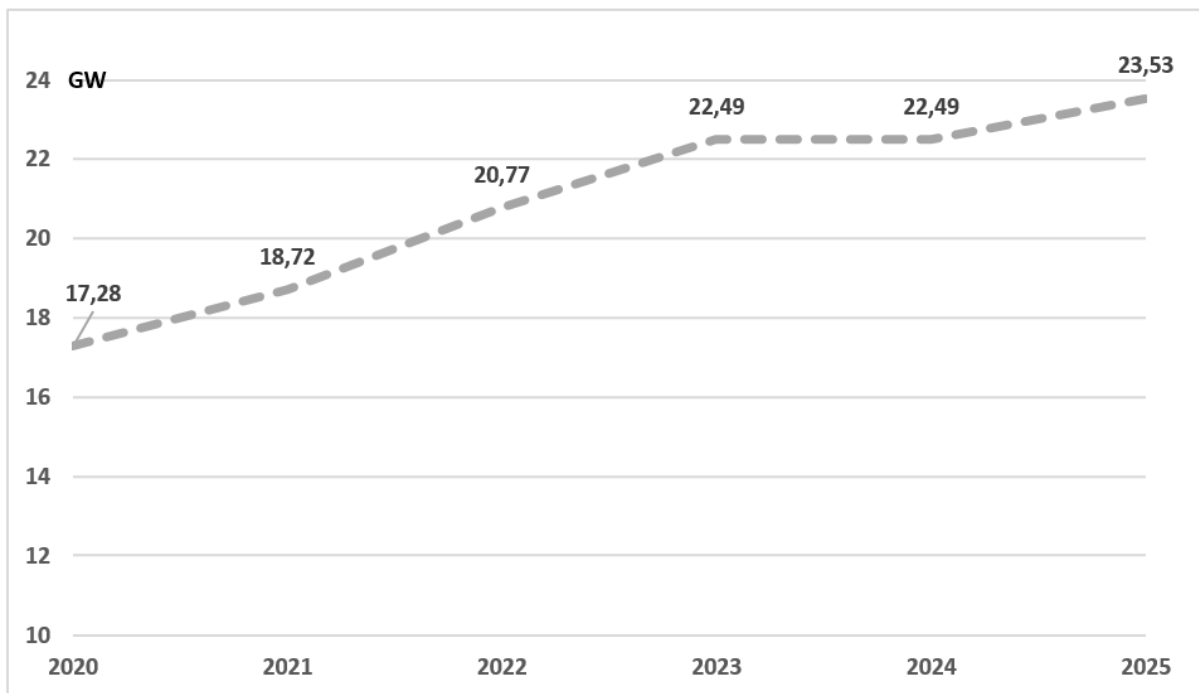
UF	Potência (MW)	Parques
RN	4.319,5	159
BA	4.074,4	165
CE	2.045,5	79
RS	1.831,9	80
PI	1.638,1	60
PE	782	34
MA	426	15
SC	238,5	14
PB	157,2	15
SE	34,5	1
RJ	28,1	1
PR	2,5	1

Fonte: ABEEólica (2020).

O cenário para os próximos anos consiste em um mercado voltado ao modelo que incentive o desenvolvimento do Ambiente de Contratação Livre (ACL), onde compradores, vendedores e comerciantes de energia podem negociar diretamente (GWEC, 2020).

O ACL brasileiro está em expansão há alguns anos. No ano de 2018, mais de 2 GW de capacidade eólica foram vendidos nesta modalidade, em comparação com 1,25 GW no mercado regulamentado pelo governo federal. Essa tendência continuou no ano de 2019, com mais de 2 GW vendidos, em comparação com 1,13 GW em leilões (GWEC, 2020). O fortalecimento do ACL está relacionado ao aumento da concorrência e à queda dos preços no leilão. Assim, a projeção é que, nos próximos cinco anos, a capacidade instalada brasileira alcance a marca de 23,5 GW, conforme estimado na Figura 5 (ABEEÓLICA, 2020).

Figura 5 – Projeção da capacidade instalada de energia eólica brasileira



Fonte: ABEEólica (2020).

2.2 SELEÇÃO DE FORNECEDORES

2.2.1 Visão geral

A seleção de fornecedores se configura como uma das atividades mais críticas para o estabelecimento de uma cadeia de suprimentos eficiente (THRULOGACHANTAR; ZAILANI, 2011). As estratégias de compras devem buscar o alinhamento dos objetivos da organização, exigindo um papel mais proativo por parte da empresa na seleção dos seus fornecedores, bem como sua contínua avaliação de desempenho (DE BOER; PIERANGELA; MORLACCHI, 2001; PRESSEY; WINKLHOFER; TZOKAS, 2009).

Nesse contexto, por depender de inúmeros fatores, o processo de seleção de fornecedores vem sendo predominantemente abordado na literatura científica como um problema de decisão no qual diversos critérios podem ser considerados no julgamento das possíveis empresas fornecedoras de matéria prima ou serviços (DE BOER; PIERANGELA; MORLACCHI, 2001).

Para Corrêa (2014), a boa gestão da cadeia de suprimentos está diretamente ligada ao relacionamento existente entre compradores e fornecedores. De acordo com Viana e Alencar

(2012), o impacto do desempenho do fornecedor na performance de seus contratantes tem feito as organizações repensarem seus métodos de seleção de fornecedores.

Segundo Slack (2009), as escolhas de fornecedores adequados devem envolver na negociação comparações de atributos alternativos (*tradeoff*) que permitam tomar a melhor decisão. Raramente, os fornecedores potenciais são claramente superiores aos seus concorrentes, de modo que a decisão seja muito evidente. Muitas empresas acham melhor adotar algum tipo de classificação por nota ou procedimentos de avaliação. Isso deveria ser capaz de ranquear fornecedores alternativos.

2.2.2 Métodos de seleção de fornecedores

A dificuldade de selecionar fornecedores requer ferramentas e técnicas que possam facilitar o processo de tomada de decisão e aumentar a eficiência da seleção. Alencar e Almeida (2008) afirmam que uma das partes mais difíceis desse processo de tomada de decisão é a definição de parâmetros, pois eles refletirão as preferências e *tradeoff* do tomador de decisão, e que as principais ferramentas e técnicas para a seleção de fornecedores são: ponderação linear, programação matemática, modelo multicritério, *total cost of ownership* (TCO), *data envelopment analysis* (DEA) e teoria *fuzzy*.

2.2.3 Seleção de fornecedores utilizando métodos multicritério

A seleção de fornecedores tem sido abordada como um problema de decisão multicritério, cujo objetivo principal consiste em encontrar os fornecedores certos que estejam aptos a oferecer à empresa compradora produtos ou serviços com a qualidade desejada, com preço justo, assim como no tempo certo e na quantidade especificada (HA; KRISHNAN, 2008; BORAN *et al.*, 2009).

De maneira mais abrangente, Viana e Alencar (2012), com o intuito de identificar os principais critérios e métodos analíticos usados para a seleção de fornecedores, apontaram os cinco critérios mais citados na literatura, são eles: qualidade; preço; entrega (pontualidade e conformidade); capacidade tecnológica; e capacidade de produção e instalações.

Quanto às abordagens encontradas, evidencia-se que: a predominância dos métodos de apoio à decisão multicritério aparecem em 50% das publicações analisadas; os modelos com base na teoria *fuzzy* aparecem com 25%; a técnica *data envelopment analysis* (DEA) é aplicada em 12,5% dos artigos investigados; 7% dos trabalhos utilizaram métodos

classificados como inteligência artificial; e as demais abordagens foram empregadas em menos de 7% das modelagens (VIANA; ALENCAR, 2012).

2.3 DECISÃO MULTICRITÉRIO

2.3.1 Visão geral

O apoio multicritério à decisão (AMD) surgiu na segunda metade do século XX como um conjunto de técnicas e métodos para auxiliar pessoas e organizações na solução de problemas de decisão em que são considerados diversos pontos de vista (VINCKE, 1992).

Um problema de decisão multicritério envolve a escolha entre pelo menos duas alternativas, visando a atender a múltiplos objetivos, os quais muitas vezes são conflitantes entre si (ALMEIDA, 2013). Um processo que resulte numa boa decisão envolve uma sequência lógica daquilo que se propõem. Propósito este expressado pelas preferências que se tem pelas várias consequências das decisões, que distribuídas no tempo podem ser incertas, dependendo do que se sabe em relação às alternativas e daquilo que se pode fazer por meio das alternativas disponíveis (CAMPELLO DE SOUZA, 2007).

Neste caso, no problema de decisão multicritério, diz-se que não há solução que seja a melhor para todos os critérios simultaneamente. Na verdade, busca-se a solução de melhor compromisso diante da avaliação dos critérios (ZELENY, 1982).

Inerente ao processo decisório está a figura do decisor ou do grupo de decisores, que utiliza os diversos métodos de apoio à decisão multicritério para estabelecer suas preferências sobre as consequências por meio de uma estrutura que permita a tomada de decisão (ALMEIDA, 2013).

De acordo com Almeida (2013), outras partes interessadas, conhecidas como *stakeholders*, participam do processo decisório, influenciando de alguma maneira o decisor. Esses *stakeholders* podem ser: o analista, responsável por fornecer o conhecimento suficiente para estruturar e conduzir o problema; o cliente, que normalmente é um assessor do decisor se pondo entre ele e o analista; e o especialista, que, conforme Roy (1996), tem o domínio do comportamento das variáveis no contexto do estudo.

2.3.2 Problemáticas de decisão

Nos problemas de decisão, o decisor deseja realizar uma escolha sobre as alternativas, de acordo com uma das problemáticas – aqui uma problemática diz respeito ao método de classificar um tipo de problema de decisão, a partir do modo pretendido pelo decisor para comparar as alternativas do conjunto em questão (ALMEIDA, 2013). Conforme Roy (1996), existem quatro tipos de problemáticas, são eles:

- a) problemática de escolha ($P.\alpha$), em que se deseja obter um subconjunto do espaço de ações (comumente escolher uma alternativa);
- b) problemática de classificação ($P.\beta$), que tem como objetivo alocar as alternativas em classes ou categorias definidas *a priori*;
- c) problemática da ordenação ($P.\gamma$), onde as ações são colocadas em uma ordem;
- d) problemática de descrição ($P.\delta$), que ajuda na decisão por meio da descrição das ações e do seu conjunto de consequências.

Almeida (2013) acrescenta a esta lista a problemática de portfólio, que tem como objetivo escolher, dentro de um conjunto de ações, um subconjunto que atenda aos objetivos e às restrições. Este tipo de problemática é muito usada para a escolha de projetos na composição do portfólio organizacional.

2.3.3 Principais abordagens dos métodos multicritérios

A escolha da abordagem a qual o método está vinculado precede sua escolha. Vincke (1992) e Roy (1996) dividem as abordagens em: teoria da utilidade multiatributo ou do critério único de síntese; abordagem de sobreclassificação ou subordinação; e métodos interativos.

2.3.3.1 Métodos de agregação a critério único de síntese

Essa abordagem deriva-se da corrente de pensamento americana. As preferências do decisor por determinada alternativa, quando a avalia mediante um conjunto de critérios ou indicadores, são agregadas em um valor de utilidade único, que é mesurado de uma forma aditiva (com *tradeoffs*), ou seja, é gerado um *score* de cada alternativa com base no

desempenho que apresentou em cada critério. Assim, as alternativas melhores avaliadas são as que obtiverem o melhor *score* (ALMEIDA, 2011). Alguns métodos desta abordagem podem ser citados: MAUT (*multi-attribute utility theory*), SMART (*simple multiattribute rating technique*), TOPSIS (*technique for order preference by similarity to ideal solution*), AHP (*analytic hierarchy process*), FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*).

2.3.3.2 Abordagem sobreclassificação ou subordinação

Derivada da corrente francesa, o principal objetivo é construir relações binárias que representem as preferências do decisor com base na informação disponível (sem *tradeoffs*) entre critérios. Neste caso, não se obtém um *score* das alternativas mediante seu desempenho em cada critério (LÉGER; MARTEL, 2002).

Por meio de uma comparação par a par, verifica-se qual alternativa é superior em cada critério, estabelecendo-se uma relação de superação no confronto entre duas alternativas. Assim, é melhor avaliada a alternativa que apresentar superioridade na maioria dos critérios. Esta abordagem é fundamentada no sistema de eleição de *Condorcet* e é considerada mais equilibrada, tendo em vista que é escolhida a alternativa que possuir um desempenho satisfatório na maioria dos critérios (ALMEIDA, 2011). Os principais métodos desta abordagem são os das famílias ELECTRE e PROMETHÉE.

2.3.3.3 Métodos interativos

Esses métodos são desenvolvidos principalmente no âmbito da *multi-objective linear programming* (MOLP), os quais se caracterizam por possuir passos computacionais e serem interativos, permitindo *tradeoffs* (LÉGER; MARTEL, 2002).

Os métodos da MOLP buscam uma alternativa que seja claramente superior em todos os objetivos estabelecidos (dominante). Para isso, efetuam a agregação das preferências dos decisores e cálculos matemáticos, interativos e sucessivos, avaliação destas soluções, de possível alteração da estrutura de preferências em face da nova informação disponível, com vista à convergência para uma solução final que estabeleça um compromisso aceitável entre as funções objetivo (ANTUNES; ALVES, 2012).

Alguns métodos dessa abordagem podem ser citados: STEM (*step method*), TRIMAP (método de aprendizagem em programação linear tricritério), ICW (*interval criterion weights*), PARETO RACE (ANTUNES; ALVES, 2012), assim também como o FITradeoff

(de ALMEIDA *et al.*, 2016) que será abordado adiante. Cabe ressaltar que este último é um método de agregação a critério único de síntese, ao qual, mediante a comparação entre os critérios, busca a solução mais satisfatória e não a dominante (ALMEIDA, 2011).

2.3.4 Método FITradeoff

O método de elicitación por *Tradeoff* Interativo e Flexível, ou FITradeoff, desenvolvido por de Almeida *et al.* (2016), é fundamentado no *tradeoff* tradicional, que implementa dois principais benefícios em relação a este método, quais sejam: reduz a informação requerida por parte do decisor e apresenta a informação requerida cognitivamente mais fácil de ser fornecida.

O FITradeoff é um método multicritério para escolha (de ALMEIDA *et al.*, 2016), ordenação (FREJ; ALMEIDA; COSTA, 2019) ou classificação (KANG; FREJ; ALMEIDA, 2020) de alternativas, no qual tem o processo de elicitación dos pesos (constantes de escala, k) com base na preferência de um determinado decisor.

O método FITradeoff difere do *Tradeoff* tradicional, visto que este último exige que o decisor, no momento de fazer o confronto entre as consequências, especifique o ponto exato que o torna indiferente entre as duas possíveis consequências, para que, a partir daí, seja obtida uma igualdade que fará parte do sistema de equações para obtenção dos valores de k . Especificar este o ponto exato de indiferença não é uma tarefa fácil para o decisor, visto que exige um alto esforço cognitivo (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

Por ser um método de agregação aditivo, o FITradeoff obedece à função de valor global $v(a)$, onde utiliza, para a avaliação intracritério, a função valor $v_j(a)$ para cada critério j . O objetivo da escolha consiste na seleção da opção que tenha o máximo valor $v(a)$, conforme a Equação (2.1) (ALMEIDA, 2013).

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a) \quad (2.1)$$

Onde k_j é a constante de escala para o critério j , conforme Equação (2.2):

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1; k_j \geq 0 \quad (2.2)$$

A constante de escala (k_j) está associada à taxa de substituição, que traduz a ideia de compensação de ganho em um critério, quando se perde em outro (ALMEIDA, 2013).

O decisor almeja obter a alternativa que lhe forneça a consequência mais desejável dentre as várias alternativas de critérios estabelecidos, como a escolha de um determinado fornecedor (ALMEIDA, 2013), conforme a matriz de consequência detalhada na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Matriz de consequência para seleção de fornecedores

	Preço (R\$)	Nível técnico (grau)	Defeitos (taxa)	Confiabilidade (taxa)	Entrega em tempo (taxa)	Capacidade de suprimento (itens)	Tempo de reparo (semanas)
Fornecedor 1	55	2	0,04	80	0,85	400	2
Fornecedor 2	40	1	0,01	95	0,95	700	1
Fornecedor 3	45	1	0,02	90	0,98	600	1
Fornecedor 4	50	3	0,06	70	0,90	500	3

Fonte: adaptada de Almeida (2013).

Para a utilização do método FITradeoff, faz-se necessário realizar a transformação de escalas na matriz de consequência, conhecida como normalização, criando uma escala de valores que variam de 0 a 1. Assim, como resposta, obtém-se a matriz de decisão, onde se avalia cada alternativa i em relação a cada critério j para encontrar a função valor $v_j(a_i)$ (ALMEIDA, 2013).

A elaboração da função valor depende da avaliação das consequências de uma determinada alternativa em relação a um critério. A Tabela 3 mostra um exemplo de uma matriz de decisão (ALMEIDA, 2013).

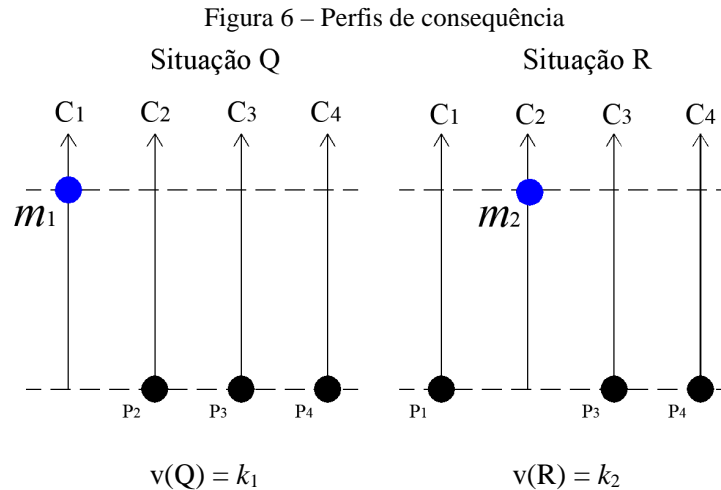
Tabela 3 – Matriz de decisão para seleção de fornecedores

	Preço (R\$)	Nível técnico (grau)	Defeitos (taxa)	Confiabilidade (taxa)	Entrega em tempo (taxa)	Capacidade de suprimento (itens)	Tempo de reparo (semanas)
Fornecedor 1	0,00	0,25	0,1	0,4	0,00	0,00	0,25
Fornecedor 2	1,00	1,00	1,0	1,0	0,77	1,00	1,00
Fornecedor 3	0,59	1,00	0,4	0,8	1,00	0,67	1,00
Fornecedor 4	0,27	0,00	0,0	0,0	0,38	0,33	0,00

Fonte: adaptada de Almeida (2013).

A obtenção dos valores das constantes de escala (k_j), propostas por Keeney e Raiffa (1976), se inicia com a avaliação intracritério, necessária para desenvolver a função valor $v_j(x_j)$ para cada critério j .

Para ordenar as consequências da melhor para a pior, questiona-se ao decisor a sua preferência em relação a duas situações, como na Figura 6 (de ALMEIDA *et al.*, 2016).



Fonte: adaptada de Almeida et al. (2016).

A primeira situação (Q) representa a melhor consequência para o critério C_1 , isto é, $v(Q) = k_1 v_1(m_1) = k_1$. Já a segunda situação (R) apresenta melhor consequência para o critério 2, isto é, $v(R) = k_2 v_2(m_2) = k_2$. Se para o decisor a situação (Q) for preferível à situação (R), então, pode-se dizer que $k_1 > k_2$. Isso significa que a consequência do critério C_1 é melhor que a consequência do critério C_2 (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

Sendo assim, o método procura solucionar o problema de programação linear (PLL), que terá função objetiva, conforme a Equação (2.3) (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ij}), j = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

Esse método tem como restrições a ordenação das constantes de escala (Equação 2.4), bem como as restrições de potencial otimalidade (Equação 2.6), da normalização (Equação 2.6) e da não negatividade (Equação 2.7) (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

$$k_1 > k_2 > \dots > k_n \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^n k_i v_i(p_{ij}) \geq \sum_{j=1}^n k_i v_i(p_{iz}), \quad z = 1, 2, \dots, m, z \neq j \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad (2.6)$$

$$k_i \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

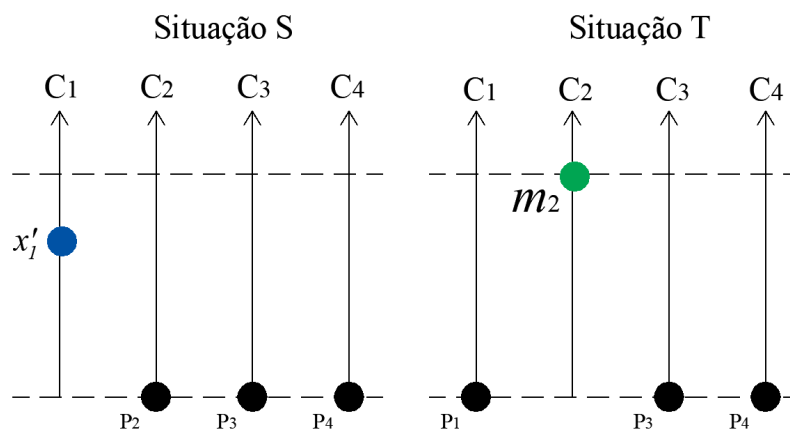
$$k_i v_i(x_i') > k_{i+1} \quad i = 1 \text{ a } n - 1 \quad (2.8)$$

$$k_i v_i(x_i'') < k_{i+1} \quad i = 1 \text{ a } n - 1 \quad (2.9)$$

Caso o problema não seja resolvido, ou seja, caso haja mais de uma solução ao problema de programação linear e o decisor deseja avançar no processo, outras duas restrições, representadas pelas equações (2.8) e (2.9), irão compor a PLL, a partir da avaliação das preferências do decisor, onde são elicitadas, realizando novas perguntas com os valores intermediários dos critérios (x_1' e x_1''), obtendo, assim, novas inequações que servirão como novas restrições, o que reduz o espaço das constantes de escala (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

Para a elicitación das preferências do decisor, são feitas também comparações de situações hipotéticas. Supondo que, na fase de ordenação realizada, foi obtido que $k_1 > k_2$, então, pode-se apresentar que a situação S possui desempenho intermediário x_1' no critério C1 e pior desempenho nos demais; ao passo que, na situação T, o melhor desempenho possível está no critério C2 e o pior nos demais, conforme ilustradas na Figura 7 (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

Figura 7 – Perfis de consequência primeira sensibilização

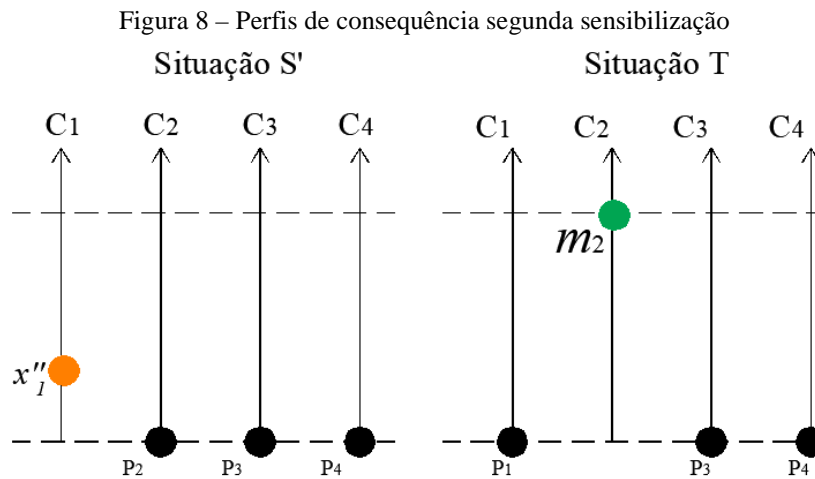


Fonte: adaptada de Almeida et al. (2016).

Se para o decisor, a situação demonstrada pela consequência S for preferível à exibida na consequência T, surge, então, a inequação representada pela Equação (2.10) (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

$$k_2 < k_1 v_1(x'_1) \quad (2.10)$$

Em um segundo momento, o comportamento do critério C_1 pode ser alterado (x''_1) de tal maneira que o decisor prefira a consequência da situação T à da situação S' (de ALMEIDA *et al.*, 2016), como mostra a Figura 8, a seguir.



Nesse caso, surge a inequação representada pela Equação (2.11).

$$k_2 > k_1 v_1(x''_1) \quad (2.11)$$

O procedimento prossegue até que a solução seja encontrada ou até que o decisor não deseje mais continuar o processo, uma vez que este pode acompanhar e analisar os resultados parciais durante o andamento da elicitação. A cada pergunta respondida, novas inequações são adicionadas ao problema, reduzindo, assim, o espaço das constantes de escalas (k), tentando resolver a programação linear para cada alternativa e buscando o resultado ótimo da função objetivo (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

Percebe-se que não é essencial chegar ao ponto exato de indiferença entre as duas situações hipotéticas, pois o método trabalha com relação de preferência estrita, que, na

realidade, torna o processo mais fácil para o decisor, reduzindo a possibilidade de inconsistência no processo decisório (de ALMEIDA *et al.*, 2016).

2.4 TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO

2.4.1 Visão geral

O planejamento de um projeto é feito no nível estratégico e tático para ser posteriormente realizado no nível operacional; após isso, é formulada uma programação. Sendo estabelecidas as programações de um projeto, surgem necessidades de controles, pois com eles são avaliadas a qualidade e a quantidade do que foi planejado para esse período, permitindo, caso necessário, a reprogramação.

Para planejar e controlar, é necessário ter atitudes e tomar decisões continuamente, pois a antecipação é fundamental para corrigir desvios que venham comprometer o objetivo final do projeto.

Conforme Ackoff (1970), planejamento é algo que se faz antes de agir, isto é, a tomada antecipada de decisões. O autor ainda destaca a necessidade do planejamento de um projeto ao afirmar que o planejamento é necessário quando a consecução do estado futuro que se deseja envolve um conjunto de decisões interdependentes, isto é, um sistema de decisões.

Limmer (1997) afirma que o planejamento deve andar em conjunto com as atividades de suprimento, engenharia, produção, onde se torna indispensável o desenvolvimento e a dinâmica de um plano de execução do projeto, com o intuito de cumprir seu escopo dentro do prazo, do custo, qualidade e com riscos pré-definidos.

2.4.2 Técnicas de programação

Técnicas de planejamento e programação aplicáveis à gestão da construção podem ser classificadas em duas categorias básicas, são elas: métodos orientados à duração, como o método do caminho crítico (CPM, sigla em inglês de *critical path method*); e técnicas orientadas a recursos, como a LOB (AMMAR, 2013).

Os métodos de rede com base no CPM são os mais difundidos até mesmo pelo grande número de programas computacionais disponíveis no mercado para seu processamento. O CPM visa a definir a duração mínima do projeto, levando em consideração as relações de dependências e a duração de cada uma das atividades (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

A técnica CPM apresenta a representação do fluxo do projeto, empregando o diagrama de flechas, onde as atividades são exibidas por intermédio de flechas ou arcos, sendo esses delimitados por nós (evento). Em geral, a flecha é identificada por letra e os nós por números, empregando-se também a identificação da atividade pelo conjunto da numeração dos nós de início e término da mesma (CORRÊA; CORRÊA, 2017).

Apesar da ampla aplicação do CPM na gestão da construção (JAAFARI, 1984), a técnica falha no planejamento de projetos repetitivos (FAN; TSERNG, 2006). As técnicas com base no CPM têm sido amplamente criticadas na literatura por sua incapacidade de modelar projetos repetitivos (SELINGER, 1980; REDA, 1990; RUSSEL; WONG, 1993).

2.4.3 Linha de balanço (LOB)

A LOB foi originada por Goodyear, no início dos anos 1940, e foi desenvolvida pela marinha norte-americana, no início dos anos 50, para o planejamento e controle de projetos repetitivos (AL SARRAJ, 1990).

A técnica da LOB foi aplicada pela primeira vez na fabricação industrial e controle de produção, onde o objetivo era atingir ou avaliar uma taxa de fluxo de linha de produção dos produtos (JOHNSTON, 1981; NAVMAT, 1962; AL SARRAJ, 1990).

Para Ammar (2013), a técnica da LOB é uma variação dos métodos de programação linear. Variação essa que permite o balanceamento das operações, de modo que cada atividade seja realizada continuamente a partir de uma unidade para a outra (HEGAZY, 2002).

Arditi, Tokdemir e Suh (2001) afirmam que o maior benefício da técnica de linha de balanço é que ela fornece taxa de produção e duração sob um formato gráfico de fácil interpretação. Essa técnica permite a possibilidade de ajustar as taxas de produção das atividades. Isto permite um fluxo suave e eficiente de recursos, bem como requer menos tempo e esforço para executar as atividades.

A LOB considera que o cálculo de quantas unidades de um determinado produto deve ser concluído em um intervalo de tempo para alcançar a entrega programada (DAMCI; ARDITI; POLAT, 2013). Uma vez estabelecida uma taxa de entrega prevista de cada atividade, espera-se que as entregas não sejam inferiores a essa taxa alvo de entrega (LUMSDEN, 1968).

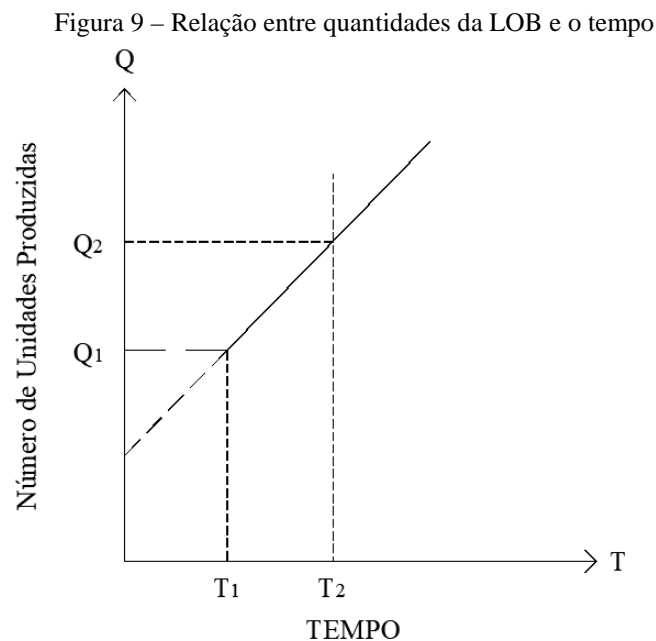
De acordo com Ammar (2013), a configuração mais utilizada na literatura sobre a LOB está descrita nas seguintes etapas:

- Etapa 1: Cálculo dos parâmetros iniciais da LOB;

- Etapa 2: Calculando a duração da atividade;
- Etapa 3: Especificando relacionamentos lógicos usando atividades sobrepostas;
- Etapa 4: Programação do prazo das atividades.

Na primeira etapa, calcula-se a taxa ideal de entrega que uma equipe irá ser capaz de produzir que é chamada de ritmo natural (m) (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002), assim como a quantidade de equipe necessária para desempenhar a atividade.

As atividades, segundo Su e Lucko (2016), são mostradas num diagrama de espaço *versus* tempo. O eixo vertical representa as unidades de repetição a serem executadas, e o eixo horizontal simboliza a duração das atividades. O comportamento das linhas resultantes indica o ritmo natural das unidades de repetição (Figura 9).



Fonte: adaptada de Arditi, Tokdemir e Suh (2002).

A inclinação da reta entre os tempos de início e término da atividade em cada unidade é calculada conforme a Equação (2.12) (ARDITI; ALBULAK, 1986; ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002).

$$m = \frac{Q_1 - Q_2}{T_1 - T_2} = \frac{Q_i}{P_i} \quad (2.12)$$

Onde m é a inclinação da reta, isto é, o ritmo natural; Q_1 e Q_2 são a quantidade de unidades; e T_1 e T_2 são os tempos decorridos entre o início e o término da atividade.

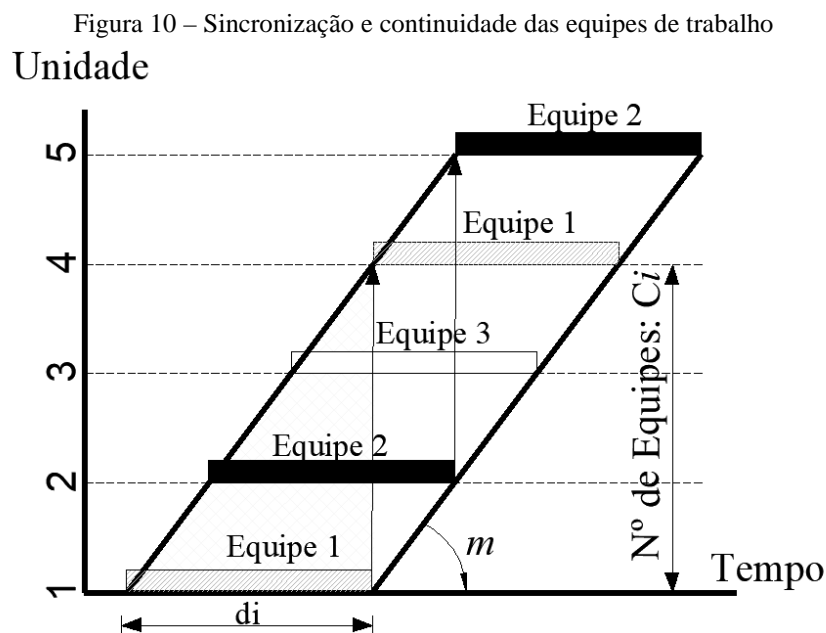
A taxa de entrega ou ritmo natural em um projeto é expressa em termos de número de unidades a serem concluídas por cada período de tempo, tais como: unidade/dia, unidade/semana, unidade/mês e assim por diante.

A duração de uma atividade i (d_i) realizada por uma única equipe em uma unidade pode ser calculada com base na quantidade de horas necessárias para finalizar a atividade e o ritmo natural empregada no serviço, usando a Equação (2.13) (AMMAR, 2013).

$$d_i = \frac{\text{Quantidade de horas necessárias da atividade } i \text{ em uma unidade}}{\text{Quantidade de horas trabalhadas por dia}} \quad (2.13)$$

Para determinar o número de equipes (C_{di}) necessárias para manter a taxa de entrega da atividade i , utiliza-se a Equação (2.14), como pode ser analisada na Figura 10.

$$C_{di} = d_i \times m_{di} \quad (2.14)$$



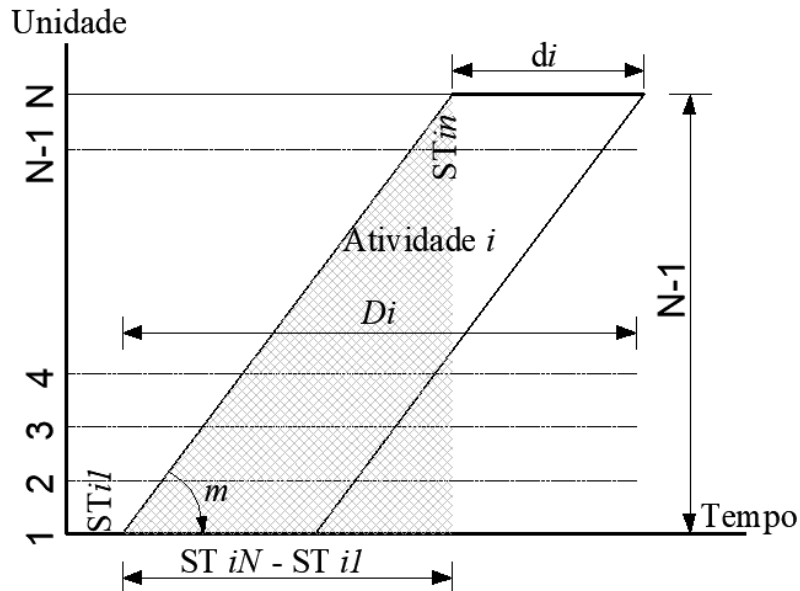
Fonte: adaptada de Ammar (2013).

O segundo passo é calcular a duração total da atividade (D_i). Para isso, assume-se que a duração é constante em todas as unidades de uma atividade repetitiva. A duração de uma atividade conforme Equação (2.15) pode ser analisada na Figura 11.

$$D_i = d_i + ST_{iN} - ST_{i1} = d_i + (N - 1) = m_{di} \quad (2.15)$$

Onde ST_{iN} é tempo de início da última unidade e ST_{i1} é o tempo de início da primeira unidade (AMMAR, 2013).

Figura 11 – Duração de uma atividade repetitiva ao longo de todas as unidades



Fonte: adaptada de Ammar (2013).

A terceira etapa consiste em especificar o relacionamento de dependência entre diferentes atividades por meio da taxa de entrega. Para especificar esses relacionamentos, o valor real da taxa de entrega é comparado com o de sua sucessora.

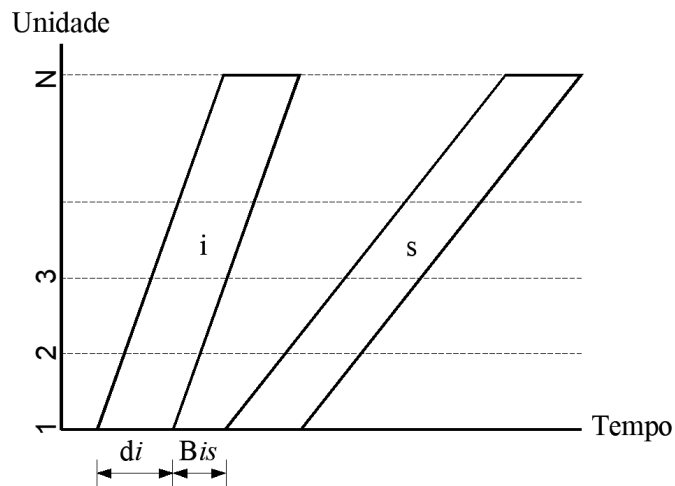
Se m_i e m_s denotam como taxas reais de progresso de uma atividade i e sua atividade subsequente s , três cenários podem ser encontrado, quais sejam:

- Cenário 1: $m_i > m_s$, isso mostra que a atividade i é mais rápida do que sua atividade subsequente s . Nesse cenário, o final da primeira unidade de atividade i controla o início da primeira unidade de atividade s (Figura 12). Portanto, a folga associada ao relacionamento início-início (ii) das atividades (Fog_{ii}) pode ser calculada pela Equação (2.16).

$$Fog_{ii} = d_i + B_{is} \quad (2.16)$$

Onde B_{is} é o *buffer* (pulmão) mínimo entre as atividades i e s . O *buffer* é geralmente usado no planejamento da LOB para absorver o efeito de quaisquer imprevistos que possam atrasar a conclusão do projeto (AMMAR, 2013).

Figura 12 – Relacionamento de atividades início-início

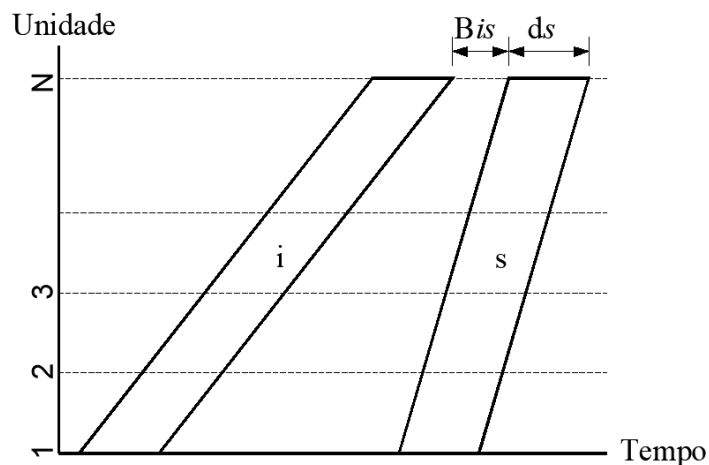


Fonte: adaptada de Ammar (2013).

- Cenário 2: $m_i < m_s$, isso mostra que a atividade s é mais rápida do que sua atividade subsequente i . Nesse cenário, o final da última unidade de atividade i controla o início da última unidade de atividade s (Figura 13). Portanto, a folga associada ao relacionamento no término-término (tt) das atividades (Fog_{tt}) pode ser calculada pela Equação (2.17).

$$Fog_{tt} = d_s + B_{is} \quad (2.17)$$

Figura 13 – Relacionamento de atividades término-término



Fonte: adaptada de Ammar (2013).

- Cenário 3: $m_i = m_s$, isso mostra que as atividades i e s são equivalentes tanto no início quanto no término.

Na quarta etapa, são determinados os prazos de início e de término admissíveis para cada atividade. Para isso, considera-se o caminho de ida, que é do início ao término da atividade, e o caminho de volta, que é do término ao início da atividade.

Para o caminho de ida, tem-se, no relacionamento ii , o cálculo da primeira data de início (PDI), dada pela Equação (2.18).

$$PDI_{i1} = \text{Max} \left(PDI_{p1} + Fog_{ii(ip)} \right); p = 1, 2, \dots, NP_i \quad (2.18)$$

Onde PDI_{i1} é o tempo mais cedo para começar a atividade i ; PDI_{p1} é o tempo mais cedo da primeira unidade da atividade antecessora p ; NP_i é o número da atividade antecessora. A primeira data de término (PDT) é dada pela Equação (2.19).

$$PDT_{iN} = PDI_{i1} + D_i \quad (2.19)$$

Para o caminho de ida, tem-se, no relacionamento tt , o cálculo da primeira data de término (PDT), dada pela Equação (2.20).

$$PDT_{iN} = \text{Max} \left(PDT_{pN} + Fog_{tt(ip)} \right); p = 1, 2, \dots, NP_i \quad (2.20)$$

A primeira data de início (PDI) é dada pela Equação (2.21).

$$PDI_{i1} = PDT_{iN} - D_i \quad (2.21)$$

Para o caminho de volta, tem-se, no relacionamento ii , o cálculo da última data de início (UDI), dada pela Equação (2.22).

$$UDI_{i1} = \text{Max} \left(UDI_{p1} + Fog_{ii(ip)} \right); p = 1, 2, \dots, NS_i \quad (2.22)$$

Onde UDI_{i1} é o tempo mais tardio para começar a atividade i ; UDI_{p1} é o tempo mais tarde da primeira unidade da atividade sucessora p ; NS_i é o número da atividade sucessora. A última data de término (UDT) é dada pela Equação (2.23).

$$UDT_{iN} = UDI_{i1} + D_i \quad (2.23)$$

Para o caminho de volta, tem-se, no relacionamento tt , o cálculo da última data de término (UDT), dada pela Equação (2.24).

$$UDT_{iN} = \text{Max} \left(UDT_{pN} + Fog_{it(ip)} \right); p = 1, 2, \dots, NS_i \quad (2.24)$$

A última data de início (*UDI*) é dada pela Equação (2.25).

$$UDI_{i1} = UDT_{iN} - D_i \quad (2.25)$$

2.5 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM PROJETOS

Projetos de infraestrutura consomem uma parcela significativa do orçamento na maioria das organizações (RUWANPURA; ARIARATNAM, 2007). Isso pode ser explicado pela enorme necessidade de matérias-primas e de maquinário pesado para a construção dessas obras. Consequentemente, o planejamento para esses tipos de projetos se torna uma questão crítica, especialmente nas fases preliminares, onde estimar a duração do projeto e de suas atividades se torna uma tarefa árdua para os planejadores, que têm que calcular a duração mais provável para sua realização (LEE; MORA; PARK, 2006). Esse processo é geralmente fundamentado em determinismo com abordagem que depende da experiência da equipe de planejamento, bem como de comparações com projetos semelhantes já realizados, que ignoram o fato de que cada projeto é único (CHAN; CHAN, 2004).

A pesquisa operacional tem contribuído significativamente para o estabelecimento de tais instrumentos de tomada de decisão (TAVARES, 2002; WILLIAMS, 2003). A simulação vem sendo percebida como ferramenta confiável na determinação de prazo das atividades de um projeto. Essa percepção surge da capacidade dessa metodologia em modelar as várias aleatoriedades envolvidas (LEE; PEÑA-MORA, 2005).

Conforme Ruwanpura e Ariaratnam (2007), a simulação é uma ferramenta eficiente e econômica para a tomada de decisões e para a análise de sistemas do mundo real em processos de construção repetitivos.

As metodologias em simulação empregadas na gestão de projeto são: simulação de Monte Carlo; Gert (*graphic evaluation and review technique*); Vert (*venture evaluation and review technique*); sistemas dinâmicos; SED; e simulação híbrida.

O uso da SED em projetos de infraestrutura se torna uma ferramenta necessária aos tomadores de decisão, pois tem a capacidade de capturar as incertezas e os riscos aos projetos, bem como a de desenvolver alternativas, entre várias existentes na operação da construção, que subsidiem de informações aos *stakeholders* em um curto espaço de tempo (RUWANPURA; ABOURIZK, 2004). A simulação das operações em projetos de

infraestrutura permite que os planejadores estimem as possíveis consequências e impactos no prazo e nos custos do projeto (RUWANPURA; ABOURIZK; ALLOUCHE, 2001).

2.5.1 Simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo envolve amostragem aleatória das variáveis, por meio de sua distribuição de probabilidade (DONATELLI; KONRATH, 2005). A saída do processo de modelagem e simulação de Monte Carlo inclui as seguintes informações: distribuição de cada variável de saída; listagem de sensibilidade das variáveis-chave classificadas de acordo com a correlação da variável de saída; gráficos e resumos estatísticos que caracterizam os resultados da simulação (PIZZOLATO, 2005).

Em virtude do rápido avanço na área computacional, a utilização desse método se intensificou, permitindo a execução de simulações complexas em um curto período de tempo. Atualmente, existem disponíveis comercialmente vários *softwares* para o processo de simulação, como o @RISK e o *Crystal Ball* (SAMANEZ, 2009).

Vose (1996) lista alguns produtos comerciais mais populares, são eles:

- @RISK, da Palisade Corporation: é um dos mais sofisticados pacotes desenvolvidos para planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel. Apesar de sua ampla disponibilidade de funcionalidade, é citado como uma ferramenta de utilização simples e amigável;
- *Crystal Ball*, da Decisioneering, Inc.: não é um pacote tão sofisticado quanto o @RISK. Porém, é versátil e tem uma interface gráfica amigável. Ele incorpora a funcionalidade de “ajustar” melhor a distribuição a um conjunto de dados, além de outras funcionalidades, tais como um tipo de análise de sensibilidade.

O @RISK foi a ferramenta escolhida para a análise de risco do projeto descrito mais adiante.

2.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.6.1 Estudos desenvolvidos relacionados à seleção de fornecedores

Compreensivelmente, escolher um fornecedor é a primeira etapa do fornecimento. Corrêa (2014) destacou que a boa gestão da cadeia de suprimentos está diretamente

relacionada ao relacionamento entre compradores e fornecedores. Para Viana e Alencar (2012), o impacto do desempenho do fornecedor na *performance* da contratada fez com que as organizações reconsiderassem o método de seleção de fornecedores.

Na literatura, diversos modelos têm sido desenvolvidos para o processo de seleção de fornecedores, desde modelos de ponderação até métodos mais complexos com programação matemática e suporte para métodos de tomada de decisão multicritério (DAHER; ALMEIDA, 2010). Weber, Current e Benton (1991) apresentaram um modelo denominado de ponderação linear, onde os pesos são atribuídos a cada critério, geralmente de maneira subjetiva. A avaliação geral de cada fornecedor é obtida multiplicando-se a soma de seu desempenho na norma pelo respectivo peso. De Boer, Labro e Morlacchi (2001) propuseram um modelo de programação matemática, no qual o problema é expresso por uma função matemática objetiva, sendo, então, maximizado ou minimizado. Vincke (1992) propôs um modelo multicritério no qual os tomadores de decisão podem avaliar sistematicamente um conjunto de alternativas relacionadas a diversos critérios. Por outro lado, Degraeve e Roodhooft (1999) propõem a introdução de todos os custos mensuráveis incorridos durante o ciclo de vida do item adquirido no processo de seleção de fornecedores, técnica chamada de custo total de propriedade (TCO).

De Boer, Labro e Morlacchi (2001) introduziram a técnica de análise envoltória de dados (DEA), na qual as alternativas são avaliadas com base em critérios de benefício (*output*) e de custo (*input*). Chen, Lin e Huang (2006) propuseram a teoria *fuzzy*, na qual o valor linguístico é expresso como um número *fuzzy*, que é utilizado para avaliar critérios e atribuir pesos a eles. De Boer, Labro e Morlacchi (2001) também recomendam o uso de um sistema computacional apoiado em inteligência artificial na seleção de um fornecedor.

2.6.2 Seleção de fornecedores com decisão multicritério

A seleção correta do fornecedor tem efeito direto na lucratividade, reduzindo custos, aumentando margens de lucro, melhorando a qualidade dos insumos e entregando os produtos no prazo ao cliente final (CHAN; KUMAR, 2007).

Dickson (1966) é um dos pioneiros na área de seleção de fornecedores. Ele investigou vinte e três critérios, como entrega, qualidade, desempenho histórico, garantia, preço, capacidade técnica e posição financeira para selecionar os fornecedores apropriados.

Critérios populares de seleção de fornecedores são explorados em uma revisão feita por Ho *et al.* (2010), incluindo qualidade, entrega, preço/custo, capacidade de fabricação,

relacionamento e risco. A seleção de fornecedores incorporada no planejamento estratégico da organização pode influenciar diretamente no desempenho da cadeia de suprimentos, o que resulta no aumento da produtividade e da lucratividade (SAWIK, 2010; SAWIK, 2011).

Do ponto de vista prático, as cadeias de suprimento têm alguns compromissos, entre os quais o ambiental (DEKKER; BLOEMHOF; MALLIDIS, 2012). Sendo assim, Awasthi, Chauhan e Goyal (2010) apresentaram uma abordagem de decisão multicritério para avaliação da performance ambiental de fornecedores com informação parcial, utilizando o método TOPSIS.

Já Bottani e Rizzi (2008) propuseram a seleção de fornecedores com o objetivo de avaliar as urgências (*fallouts*) de integração ao longo dos *lead times* de compras, utilizando a lógica *Fuzzy*. Alencar e Almeida (2008) aplicaram a decisão multicritério na seleção de fornecedores em gerenciamento de projetos. Araujo e Alencar (2015) sugeriram uma adaptação do PROMETHEE-GDSS para a seleção de contratados na indústria de construção, na qual o PROMETHEE III é utilizado nas fases de avaliação individual e global, resultando em uma ordenação com fluxos intervalares.

Frej *et al.* (2017) propõem um modelo de seleção de fornecedores baseado no método FITradeoff em uma indústria de alimentos levando em consideração vários objetivos que influenciavam no problema de decisão. Os diferentes objetivos associados à questão da seleção da fonte de suprimento envolvem compensações e são itens cruciais no processo, pois medem o desempenho de cada fornecedor (ZEYDAN; ÇOPLAN; ÇOBANOĞLU, 2011).

2.6.3 Programação de projetos aplicando a técnica de linha de balanço

A pesquisa realizada na literatura sobre LOB no gerenciamento de projetos concentra-se em três aspectos, quais sejam: nivelamento de recursos, problema de prazo satisfatório e o efeito da aprendizagem na duração. Para o primeiro aspecto, os pesquisadores propuseram algoritmos diferentes para otimizar o nível dos recursos. Por exemplo, Damci, Arditi e Polat (2013) e Agrama (2014) optaram pela utilização de algoritmos genéticos para nivelar os requisitos de origem. Damci, Arditi e Polat (2016) investigaram mais os efeitos do uso de diferentes funções objetivas para nível de recursos e programações com a LOB. Zhang *et al.* (2017) acreditam na proposta de nivelamento de recursos, diminuindo o tamanho da equipe nas atividades de controle reverso.

O segundo aspecto da pesquisa diz respeito ao desenvolvimento de cronogramas para projetos com restrições estritas de prazo. Senouci e Al-Derham (2008) desenvolveram um

algoritmo genético para identificar soluções quase ideais para duração e custo de projetos de construção lineares. Dolabi, Afshar e Abbasnia (2014) usaram o CPM para determinar o tempo necessário para concluir uma unidade padrão e, em seguida, a taxa de produção foi calculada oferecendo o tamanho ideal da equipe. Da mesma maneira, Gouda, Hosny e Nassar (2014) apresentaram um modelo que utiliza a teoria dos grafos para encontrar rotas e alocar o número de equipes multitarefa no planejamento da LOB, satisfazendo o prazo de um projeto.

Gunduz e Naser (2017) argumentaram que o *lead time* do projeto pode ser diminuído, assim como o custo total pode ser reduzido e a utilização de recursos pode ser otimizada integrando LOB com mapeamento de fluxo de valor. Zou, Zhang e Zang (2018) trabalharam no desenvolvimento de cronogramas de LOB para projetos com restrições de duração, integrando a análise de *tradeoff* de custo-tempo no problema de satisfação de prazo. Nascimento e Alencar (2019) analisaram a aplicação da LOB na construção de parques eólicos no qual o estudo realizado proporcionou uma redução de prazo final do projeto.

O terceiro aspecto de pesquisa envolve a investigação do efeito de aprendizagem nas durações das atividades nos prazos da LOB. Os planejamentos com o uso da LOB contêm tarefas semelhantes que são repetitivas em cada unidade, e o tempo de conclusão dessa unidade tende a diminuir em razão do efeito de aprendizagem. Arditi, Tokdemir e Suh (2001) estudaram o efeito da aprendizagem e propôs um método para incorporá-lo nos cálculos de planejamento na LOB. Zhang, Zou e Kan (2014) e Ammar e Abdel-Maged (2018) desenvolveram modelos de curva de aprendizado para aprendizagem tardia durante a programação em LOB.

2.6.4 Programação de projetos com simulação

A aplicação da simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos, surgiu em 1963. A motivação para a nova proposta era estar ciente de certas limitações nas ferramentas CPM e PERT, que, até então, são ferramentas comumente utilizadas na gestão de prazo de projetos (HERBERT, 1979).

Com a ajuda de simulações de eventos discretos, as empresas são capazes de projetar sua produção de maneira eficiente em seus sistemas de negócios, validar e negociar alternativas de solução de propostas, solucionar potenciais problemas, melhorar as métricas de desempenho do sistema e, conseqüentemente, cortar custos, cumprir metas e impulsionar vendas e lucros (AL-AOMAR, 2000).

Ruwanpura e Ariaratnam (2007) apresentam seis ferramentas de simulação que foram desenvolvidas e implementadas para planejar e gerenciar diversas aplicações na construção de infraestrutura subterrânea.

Já Altuger e Chassapis (2009) descrevem uma abordagem de tomada de decisão multicritério implementada para selecionar o cronograma de manutenção preventiva que fornece os melhores desempenhos aos equipamentos. O modelo utilizou o *software* Arena® como uma ferramenta de suporte para o processo de tomada de decisão multicritério.

Heshmat, El-Sharief e El-Sebaie (2013) analisaram uma linha de produção de cimento, apresentando um modelo de simulação desenvolvido pelo *software* Arena® e usado para analisar e testar vários gargalos em diferentes áreas da linha de produção. De modo que com utilização da simulação foi possível ter um aumento de mais de 15% da taxa de produção e economia de 34% da capacidade ociosa.

No Brasil, Oliveira, Schramm e Schramm (2019) propõem uma abordagem de gerenciamento do cronograma, fundamentada na rede PERT e no método de simulação de Monte Carlo, para auxiliar os planejadores do setor da construção civil a reduzirem as incertezas nas durações esperadas de um projeto, enquanto o cronograma dele ainda estiver sendo planejado.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou conceitos sobre a seleção de fornecedores, assim como a variedade de ferramentas e técnicas para a solução deste problema. Dentre os principais métodos de seleção de fornecedores destaque para o método multicritério, onde explanou as principais características desta abordagem, as principais problemáticas e os métodos interativos.

Foi dada especial atenção à explicação dos princípios fundamentais do método FITradeoff, que será o método utilizado neste estudo de seleção de fornecedores. Além disso, foram introduzidos os conceitos das técnicas de planejamento de projetos com atenção especial à técnica da LOB, que fará parte do método proposto. Por fim, foram expostos conceitos básicos sobre simulação de eventos discretos, além de uma abordagem com à técnica de simulação de Monte Carlo.

O modelo a ser proposto no quarto capítulo contemplará uma problemática de seleção de fornecedores. A fim de resolver a problemática o método FITradeoff, este modelo será

aplicado, tendo como informações de entrada a aplicação da LOB e da simulação de eventos discretos, também explanadas neste capítulo.

O capítulo apresentou também os métodos de seleção de fornecedores mais difundidos na literatura, onde foi possível observar as diversas abordagens. No modelo proposto no quarto capítulo, será utilizado o método multicritério de agregação aditivo FITradeoff, desenvolvido por Almeida *et al.* (2016).

Vale frisar que a teoria da LOB no gerenciamento de projetos e os achados na literatura relacionados a sua utilização no desenvolvimento de cronograma com restrições de prazo nortearão as informações necessárias à aplicação do modelo proposto, assim como também os relacionados à simulação de eventos discretos, onde as modelagens dos processos produtivos darão fundamentos de prazo de execução ao cronograma.

3 MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

A empresa na qual foi realizado o estudo situa-se na cidade de Fortaleza. Pioneira no seu segmento, a empresa tem 20 anos de experiência na construção de parques eólicos, possui o número de 2.821 bases de aerogeradores construídas, o que representa 5,3 GW instalados, e conta com uma fatia de 40% dos complexos eólicos construídos no Brasil.

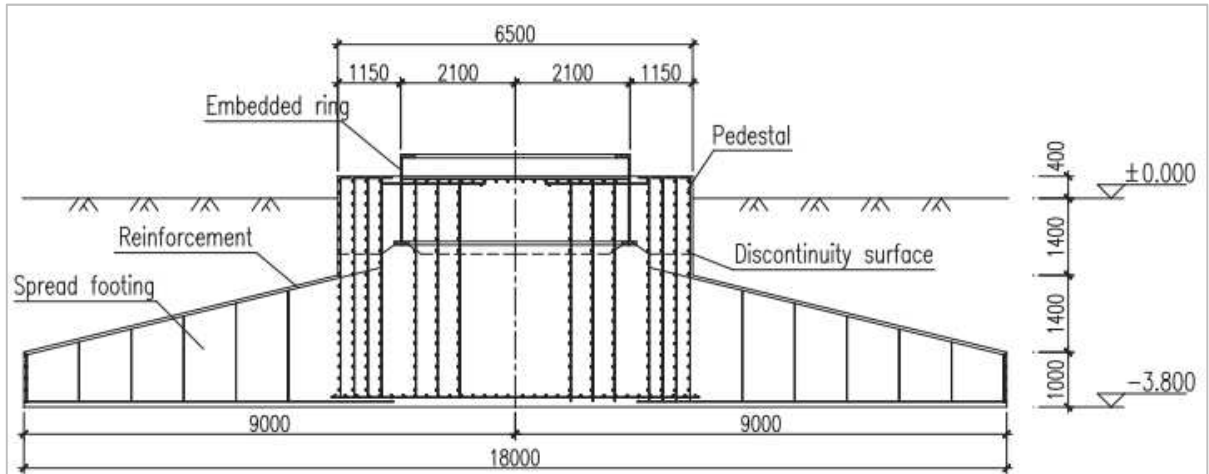
3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E CARACTERIZAÇÃO DAS FUNDAÇÕES DOS AEROGERADORES NO PROBLEMA DE DECISÃO

A seleção de fornecedores é um dos processos críticos para a gestão de cadeias de suprimentos neste segmento, influenciando diretamente o desempenho da organização, na qualidade dos produtos gerados, no prazo de execução, entre outros fatores de produção.

Outra problemática é de atribuir um valor fixo para o prazo de execução de cada atividade, neste caso não são consideradas as incertezas associadas à ocorrência ou não de uma atividade, se os recursos estão disponíveis no tempo certo para as atividades, se são previstos retrabalhos para as atividades, entre outras.

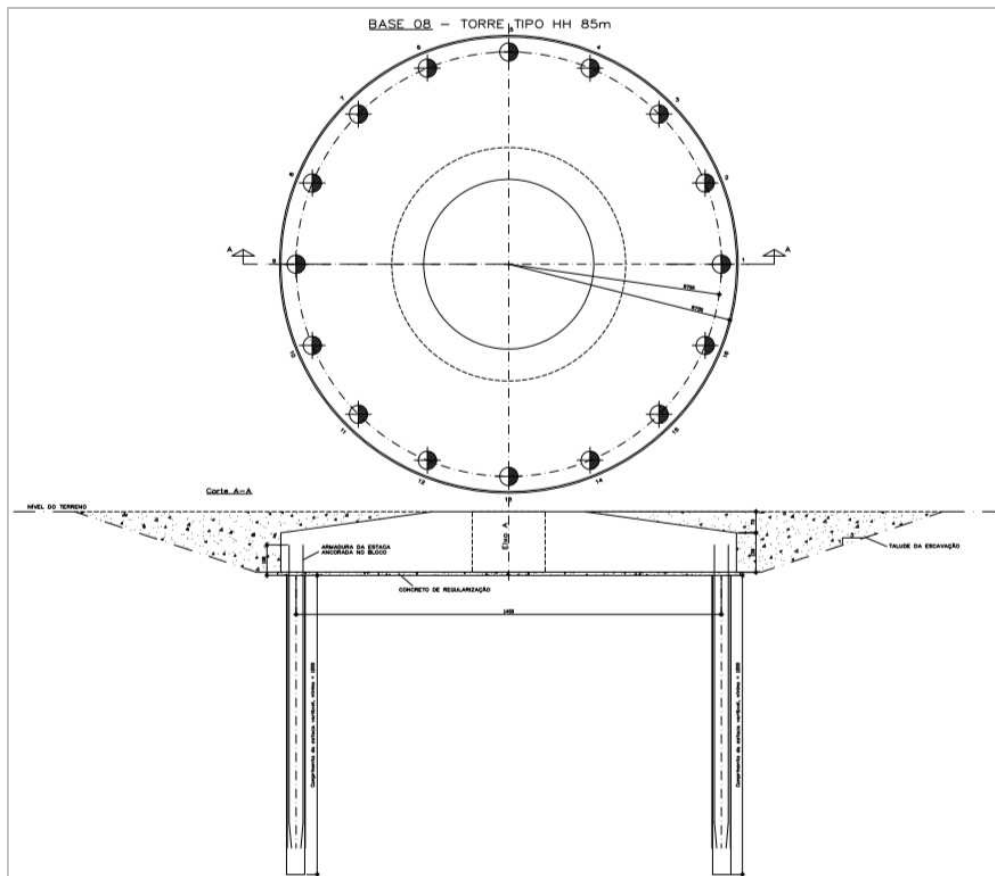
A fundação de um aerogerador funciona como um elemento de interface entre a torre da turbina eólica e o solo, feita de materiais altamente resistentes como aço e concreto. Como ordem de grandeza, as fundações dos aerogeradores podem compor cerca de 5% a 10% do valor total de um aerogerador. Dependendo das condições geológicas, as fundações utilizadas podem ser do tipo fundação direta (Figura 14) ou fundações estaqueadas (Figura 15).

Figura 14 – Projeto de fundação direta



Fonte: adaptada de He et al. (2018).

Figura 15 – Projeto de fundação estaqueada



Fonte: adaptada de Milititsky (2019).

As fundações dos aerogeradores devem atender aos requisitos de segurança, custos e velocidade construtiva, além de requisitos específicos característicos da área profissional, a saber:

- velocidade de execução, confiabilidade da solução, custo reduzido, certificação e rastreabilidade do sistema;
- extremamente importante é a previsão de execução sequencial, para facilitar montagem de todo o sistema de bloco de concreto, torre e turbina;
- os contratos entre os diversos participantes do projeto (proprietário, construtora, fornecedor de equipamentos, governo) têm condições contratuais com multas elevadas relativas a prazos de entrega.

Estas condições impactam na escolha adequada de seus fornecedores na construção das bases dos aerogeradores. A problemática abordada aqui é tratada como um problema de decisão multicritério, onde os objetivos a serem atendidos encontram-se detalhados na seção 4.2.1. Tratando-se de um problema de decisão multicritério, a seleção de fornecedores se faz necessária para avaliar os múltiplos objetivos em questão de maneira integrada para selecionar as principais empresas, de modo a não impactar no andamento do projeto.

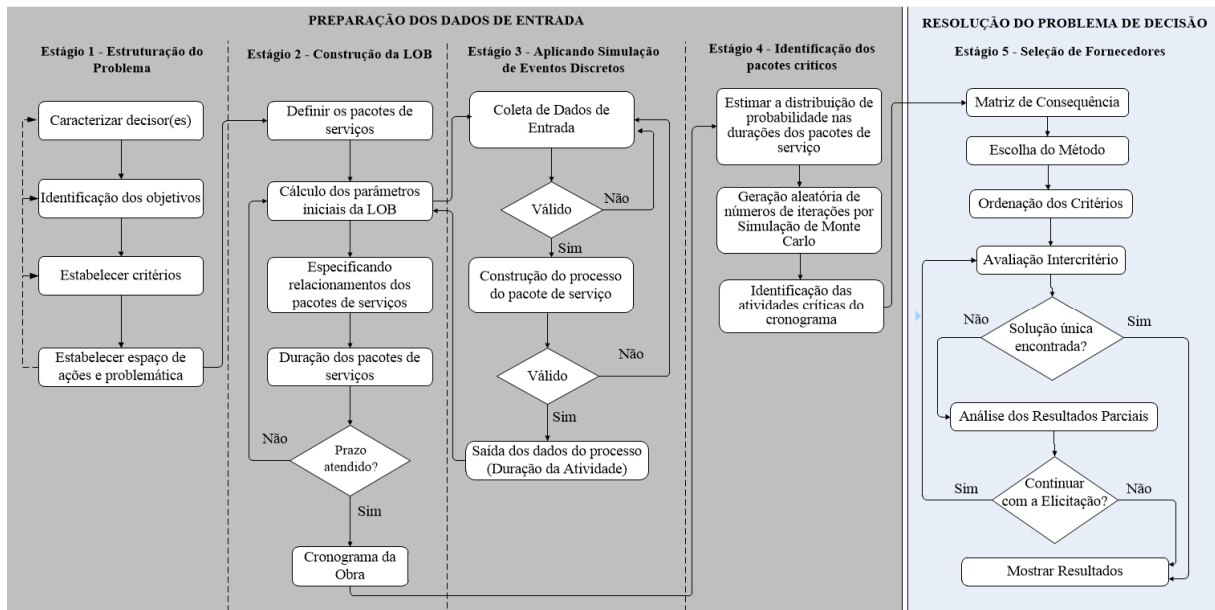
O modelo foi empregado em um parque eólico composto de 11 aerogeradores localizado no estado do Ceará, com o volume de concreto de 270,59m³ e 25,3 toneladas de aço. Trata-se de um empreendimento de engenharia com o prazo estabelecido contratualmente, entre as partes, de 100 dias para a entrega.

3.2 MODELO PROPOSTO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA CONSTRUÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

Diante da problemática apresentada na construção das bases dos parques eólicos, faz-se necessário, no modelo o uso da técnica de linha da LOB, em razão de a construção obedecer à premissa de ser uma atividade repetitiva, o uso da simulação de eventos discretos para identificar os possíveis gargalos nos processos das atividades, assim como a caracterização das atividades críticas. Para selecionar os fornecedores, foi escolhido o FITradeoff para comparar as preferências do decisor, por possuir uma forte estrutura axiomática e por se tratar de um método interativo e flexível, em que o decisor participa integralmente do processo e o esforço cognitivo exigido é menor, reduzindo, assim, a taxa de inconsistência.

Com isso, o modelo proposto é composto por cinco estágios de aplicação, conforme detalhado na Figura 16.

Figura 16 – Modelo proposto para seleção de fornecedores



Fonte: O Autor (2020).

A seguir, cada etapa será descrita em conjunto com sua aplicação na empresa alvo do estudo.

3.2.1 Estágio 1 – Estruturação do problema]

- Fase 1.1. Caracterizar decisor(es) e outros autores

A primeira etapa compreende a identificação do(s) decisor(es) e dos outros ator(es) do processo. Na organização, apenas um decisor será responsável pela decisão da escolha das empresas fornecedoras de produtos para a construção civil de parques eólicos; neste caso, o decisor será o coordenador de suporte operacional. Apesar de neste caso a decisão ter sido tomada individualmente, outros atores estão envolvidos no processo, como especialistas de planejamento que forneceram informações factuais sobre o problema, e a presença de um analista que conduziu o processo.

- Fase 1.2. Identificação dos objetivos

Na segunda etapa, foram definidos os objetivos do problema por meio de discussões com os especialistas e o decisor. O objetivo fundamental é adquirir insumos e serviços de fornecedores que atendam às necessidades do projeto conforme o cronograma e as exigências

técnicas, de modo que não cause atrasos nas entregas firmadas e mantenham o equilíbrio financeiro do contrato.

Para que o objetivo principal seja alcançado, foram estabelecidos atributos específicos descritos abaixo:

- preço;
- conhecimento técnico;
- localização;
- Política de Segurança Meio Ambiente e Saúde (SMS);
- obras realizadas.

Sendo que estes critérios não são fixos e devem mudar de acordo com a etapa construtiva do projeto de construção do parque eólico.

- Fase 1.3. Estabelecer critérios

Na terceira etapa, são definidos os critérios que devem representar os objetivos definidos na segunda etapa sem que haja redundâncias. É válido ressaltar que deve existir, para cada objetivo, ao menos uma variável que meça o grau de desempenho no mesmo.

Para resolução do problema, foram considerados cinco critérios, a saber:

- preço: refere-se ao valor de compra do insumo/serviço utilizados no processo de construção da base do aerogerador.
- conhecimento técnico: consiste no conhecimento técnico que o fornecedor já possui sobre a aplicação na construção eólica. Dessa maneira, as técnicas utilizadas para a construção serão mais facilmente incorporadas à rotina de execução em comparação aos processos totalmente desconhecidos. Tal critério foi avaliado em cinco níveis que encontram-se descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Níveis conhecimento técnico

Avaliação	Descrição do nível
5	Tecnologia já é conhecida e utilizada na construção de outros parques eólicos.
4	Tecnologia parcialmente utilizada na construção de parques eólicos.
3	Tecnologia em fase de homologação no mercado nacional.
2	Tecnologia existente só que nunca foi utilizada na construção de parques eólicos no Brasil.
1	Tecnologia nunca foi utilizada na construção de parques eólicos, de modo que não se tem conhecimento técnico sobre a mesma.

Fonte: O Autor (2020).

- localização: consiste na distância (km) do ponto de distribuição do fornecedor ao canteiro de obras do parque eólico. Deseja-se que o fornecedor tenha uma proximidade da obra de modo a diminuir o *lead time* de entrega dos materiais e caso seja fornecimento de equipamentos a menor distância permite uma possível manutenção ou troca de peças de maneira a não impactar nas horas operacionais das frentes de serviços e consequentemente no cumprimento de prazos do cronograma.
- Política de Segurança Meio Ambiente e Saúde (SMS): este critério refere-se o quanto o fornecedor está aderente as políticas de SMS determinantes para a prestação de serviço/fornecimento. Este julgamento será feito levando-se em consideração o quanto a empresa é certificada nas políticas de SMS. A negligência deste ponto corresponde um fator de risco ao objetivo fundamental. Tal critério foi avaliado em quatro níveis descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Níveis de políticas de SMS

Avaliação	Descrição do nível
4	Políticas consolidadas de SMS com apresentação de certificação.
3	Políticas consolidadas de SMS com certificação, mas a integração com a contratante pode ser complementar.
2	Apenas seguir as políticas de segurança do contratante atende às necessidades do projeto.
1	A ausência de políticas de segurança no projeto.

Fonte: O Autor (2020).

- obras realizadas: este critério refere-se à quantidade de obras já realizadas em parques eólicos. Tal critério foi analisado de acordo com o portfólio de obras fornecidas pelos fornecedores.

Diante do exposto, o Quadro 3 apresenta um resumo desses critérios.

Quadro 3 – Resumo dos critérios

Critério	Tipo	Descrição	Unidade
Preço	Minimização	Fornecedor deverá ter o menor preço	R\$
Conhecimento técnico	Maximização	Fornecedor deverá ter o conhecimento técnico a ser implementado	Pontuação
Localização	Minimização	Fornecedor deverá ter a menor distância da obra	Km
Política de SMS	Maximização	Fornecedor deverá ser aderente a política de SMS	Pontuação
Obras Realizadas	Maximização	Fornecedor deverá informar a quantidade de obras já realizadas no segmento	Número de obras

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 1.4. Estabelecer espaço de ações e problemática

As alternativas para escolha de fornecedores de insumos ou serviços para a construção de parques eólicos fazem parte de um conjunto estável, pois não se altera à medida que o processo decisório se desenvolve ao contrário do conjunto de alternativas evolutivo onde pode haver alteração do conjunto de alternativas influenciada por resultados intermediários.

Tendo em vista que o propósito deste estudo é selecionar os fornecedores para execução de parques eólicos que melhor se adequem aos objetivos estabelecidos e apenas uma será utilizada, foi definida a problemática de escolha ($P.\alpha$), conforme classificação de Roy (1996) apresentada na seção 2.3.2. É importante ainda, ressaltar a relevância desta etapa no processo de definição do método a ser utilizado, uma vez que, acaba por restringir a gama de métodos encontrados na literatura (ALMEIDA, 2013).

A definição dos fornecedores será de acordo com os pacotes de serviços que serão identificados na Fase 2.1.

Como fatores não controlados no processo de seleção dos fornecedores de insumos para a construção civil de parque eólicos seriam: paralização da obra por força maior, atraso nas entregas de serviços anteriores, paralização da obra por falta de pagamento do cliente, paralização da obra devido a causas alheias ao cliente. Estes fatores não foram considerados na elaboração na modelagem. Identificar fatores não controlados consiste na avaliação de fatores consideráveis que não estão sob controle do decisor (ALMEIDA, 2013). Caso esses fatores ocorram, será necessária a revisão do cronograma da obra.

3.2.2 Estágio 2 – Construção da LOB

- Fase 2.1. Definição dos pacotes de serviços

A unidade de repetição adotada é a base de concreto que servirá de sustentação à torre do aerogerador. Nesta etapa são definidos os pacotes de serviços essenciais ao processo produtivo da construção da base do aerogerador.

Foi realizado o levantamento quantitativo para a unidade de repetição, de acordo com a unidade de produtividade de cada serviço a ser realizado.

Na Tabela 4, a seguir, são mostradas as atividades para uma unidade de repetição, assim como os respectivos quantitativos e as suas antecessoras.

Tabela 4 – Definição dos pacotes de serviço para a construção de uma base

Seq.	Pacote de serviço	Principal insumo	Unid.	Quant.	Antecessora	Custo (%)
A	Escavar mecanicamente 1ª Fase	Escavadeira hidráulica	m ³	907,16		4,58
B	Executar fundação (HCM)	Perfuratriz hidráulica	m ³	124,41	A	10,92
C	Escavar mecanicamente 2ª Fase	Escavadeira hidráulica	m ³	604,78	B	1,15
D	Executar ensaio PIT	Fornecedor do ensaio	und	20	C	0,88
E	Executar concreto magro	Concreto (cimento, areia)	m ³	18,15	D	5,03
F	Executar armação da base	Aço CA 50 mm	kg	25.300	E	34,49
G	Colocar forma e dutos	Forma metálica, eletroduto	m ²	181,46	F	3,15
H	Concretar base	Concreto	m ³	270,59	G	30,24
I	Executar aterramento externo	Material de aterramento	und	1	H	4,12
J	Executar reaterro	Motoniveladora	m ³	1.223,21	I	5,44

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 2.2. Duração das atividades

Para o cálculo da duração de uma atividade i (d_i) realizada por uma única equipe, utiliza-se a Equação (2.13), onde a quantidade de horas necessárias da atividade i é obtida por meio da simulação de evento discreto do processo produtivo apresentado na seção 3.2.3 adiante.

$$d_i = \frac{\text{Quantidade de horas necessárias da atividade } i \text{ em uma unidade}}{\text{Quantidade de horas trabalhadas por dia}} \quad (2.13)$$

A Tabela 5 apresenta o tempo necessário de cada atividade, onde como premissa a quantidade de horas trabalhada por dia é igual a 8 horas.

Tabela 5 – Duração dos pacotes de serviços

Pacote de serviço	Quantidade de horas necessárias de execução (h)	Duração da atividade (d_i)
Escavar mecanicamente 1ª Fase	15,31	2,00
Executar fundação (HCM)	12,11	2,00
Escavar mecanicamente 2ª Fase	13,32	2,00
Executar ensaio PIT	6,09	1,00
Executar concreto magro	8,01	1,00
Executar armação da base	32,68	4,00
Colocar forma e dutos	12,73	2,00
Concretar base	8,95	1,00
Executar aterramento externo	13,45	2,00
Executar reaterro	9,24	1,00

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 2.3. Cálculo dos parâmetros iniciais da LOB

Nesta etapa são realizados os cálculos dos parâmetros para a elaboração da LOB. No dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, a experiência da equipe de produção é muito importante, e as taxas de produtividade estabelecidas para as equipes, de acordo com sua composição, refletem diretamente nos ritmos de produção que podem ser atingidos.

O ritmo m_i de cada atividade foi definido com a divisão da quantidade Q_i unitária da atividade i pela produtividade P_i da mesma como mostra a Equação (2.12).

$$m_i = \frac{Q_i}{P_i} \quad (2.12)$$

Com isso, determina-se o número de equipes necessárias, conforme a Equação (2.14).

$$C_{di} = d_i \times m_i \quad (2.14)$$

Assim, montou-se a Tabela 6, a seguir, para auxiliar no cálculo dos parâmetros.

Tabela 6 – Quantidade de serviços e mão de obra

Nome da tarefa	Unid.	Quant. (01 Base)	Produtividade P - 1 Equipe (unid./dia)	Quant. Total	m_i	Duração da atividade d_i (dias)	N. de equipes - C_{di}
1. Escavar mecanicamente 1ª Fase	m ³	907,16	453,58	9.98,76	0,5	2,00	1
2. Executar fundação (HCM)	m ³	124,41	62,205	1.368,51	0,5	2,00	1
3. Escavar mecanicamente 2ª Fase	m ³	604,78	302,39	6.652,58	0,5	2,00	1
4. Executar ensaio PIT	und	20	20	220,00	1	1,00	1
5. Executar concreto magro	m ³	18,15	18,15	199,65	1	1,00	1
6. Executar armação da base	kg	25.300	6325	278.300,00	0,25	4,00	2
7. Colocar forma e dutos	m ²	181,46	90,73	1.996,06	0,5	2,00	1
8. Concretar base	m ³	270,59	270,59	2.976,49	1	1,00	1
9. Executar aterramento externo	und	1	0,5	11,00	0,5	2,00	1
10. Executar reaterro	m ³	1223,21	1223,21	13.455,31	1	1,00	1

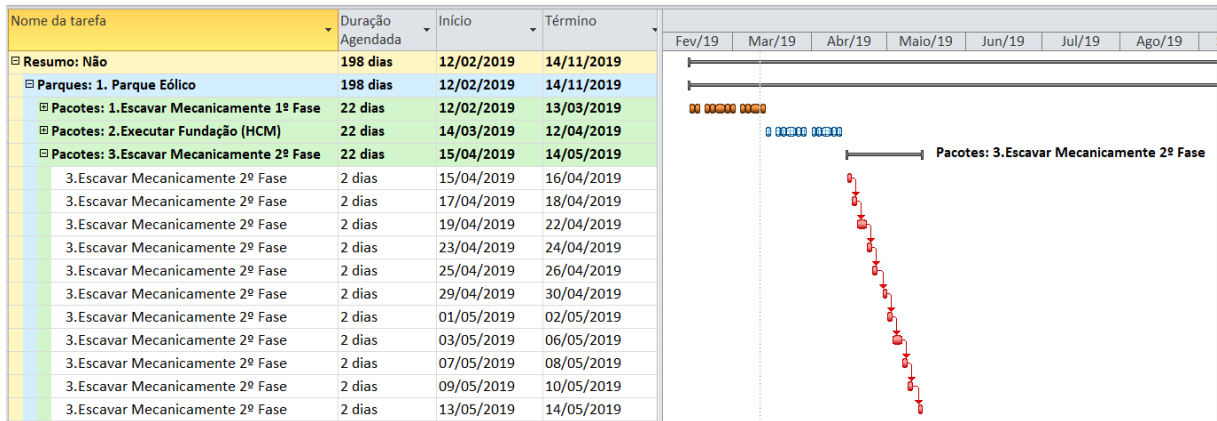
Fonte: O Autor (2020).

- Fase 2.4. Especificando relacionamentos dos pacotes de serviços

A partir das definições da sequência de execução e do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, têm-se as informações básicas necessárias à elaboração dos estudos de fluxo de trabalho na unidade de repetição do projeto.

A primeira interligação para construção de rede CPM, através do *software* Microsoft Project, é realizada apenas com os serviços dentro do ciclo de execução da base. Nesta interligação, o prazo de execução da obra equivale a 198 dias, como mostra a Figura 17.

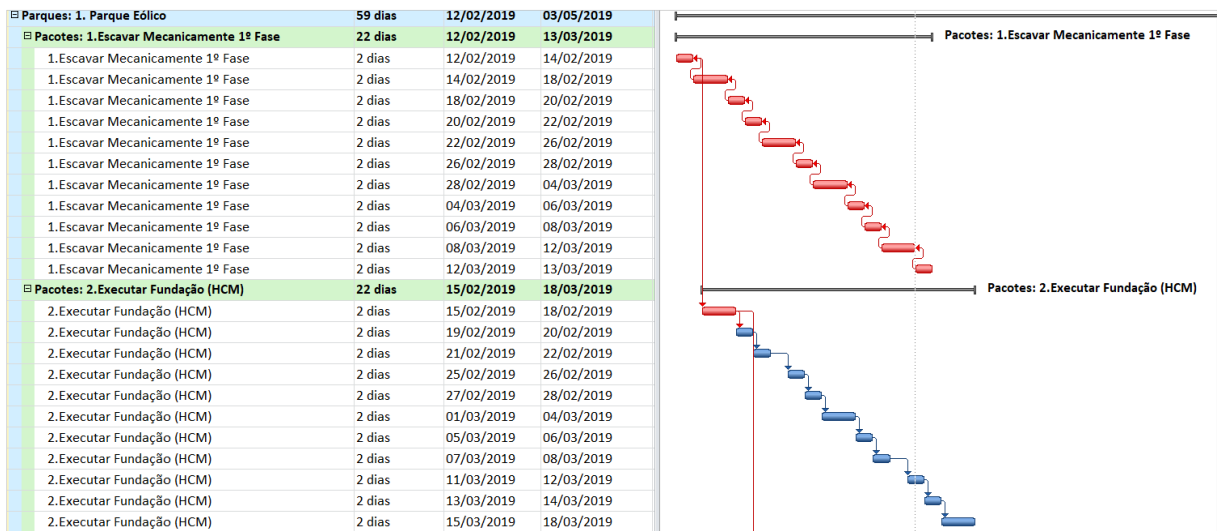
Figura 17 – Primeira simulação de prazo dos pacotes de serviços



Fonte: O Autor (2020).

A segunda interligação dos pacotes de serviços tem como fundamento o relacionamento com as atividades predecessoras não somente com o serviço anterior do ciclo da base, mas como também o serviço executado dentro do mesmo pacote de serviços. Nesta segunda interligação, o prazo de execução da obra corresponde a 59 dias, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Interligação das atividades do mesmo pacote de serviço

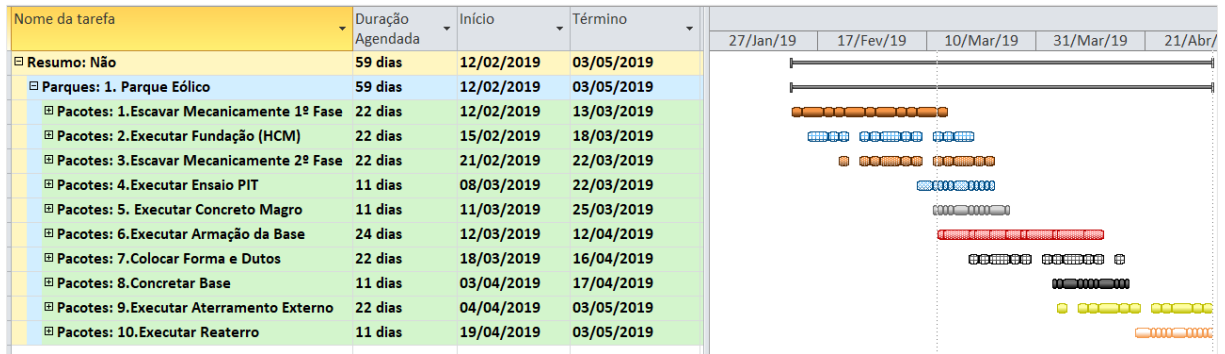


Fonte: O Autor (2020).

- Fase 2.5. Duração dos pacotes de serviços

Com todas as interligações dos pacotes de serviços realizadas conforme a Fase 2.4, obtêm-se as durações dos pacotes de serviços (Figura 19).

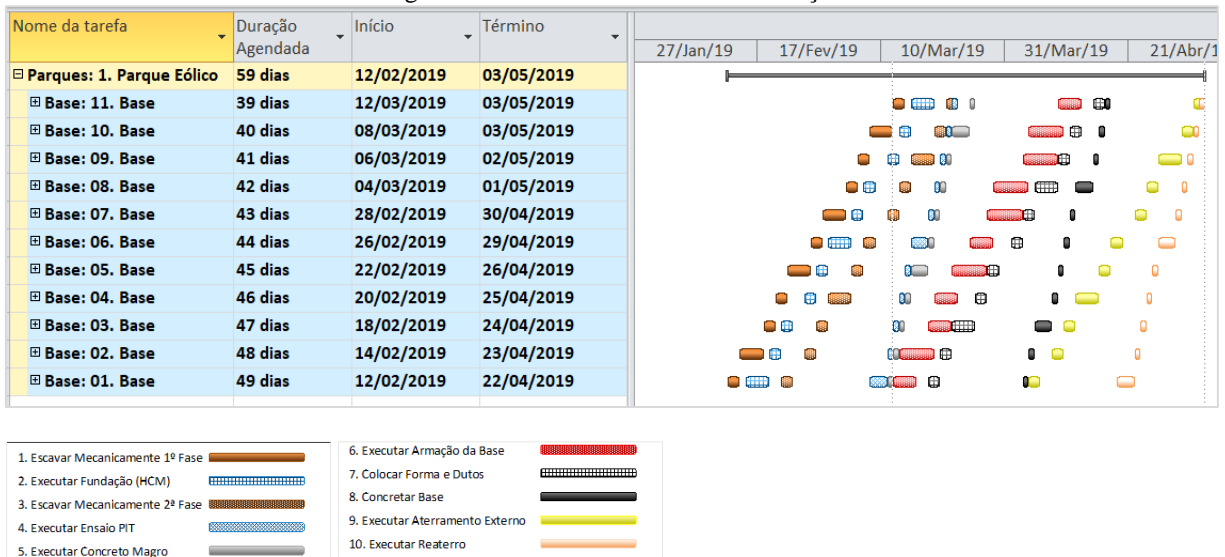
Figura 19 – Duração dos pacotes de serviços



Fonte: O Autor (2020).

A linha de balanço foi realizada de acordo com a referência bibliográfica, sempre visando ao menor tempo entre as atividades. Também foi considerada a premissa de não interromper a sequência de uma atividade nem o ritmo da mesma, como se pode observar na Figura 20.

Figura 20 – Resultado da linha de balanço



Fonte: O Autor (2020).

- Fase 2.6. Cronograma da obra

Sendo assim, o cronograma da obra obteve redução de prazo mediante o primeiro planejamento de 139 dias (198 dias – 59 dias), finalizando as entregas em 3 de maio de 2019.

Visto que o prazo de entrega estabelecido contratualmente é de 100 dias, o resultado da aplicação da técnica da LOB possibilitou a equipe de planejamento da construtora gerenciar um *buffer* de projeto de 41 dias (100 dias – 59 dias).

Nota-se que o balanceamento adequado dos recursos proporciona uma antecipação do prazo final do projeto.

3.2.3 Estágio 3 – Aplicação da simulação de evento discreto

Neste estágio, o modelo propôs a integração da LOB como ferramenta de simulação. As principais vantagens dessa integração é que a linha de balanço registra os fluxos dos pacotes de trabalho no decorrer do tempo. Dessa maneira, os resultados da simulação acontecem sob o ponto de vista das atividades de transformação e, sobretudo, das atividades de fluxo dos pacotes de trabalho.

A simulação da operação considera informações do cenário e visa a determinar o tempo de execução de cada pacote de serviço.

- Fase 3.1. Coleta de dados de entrada

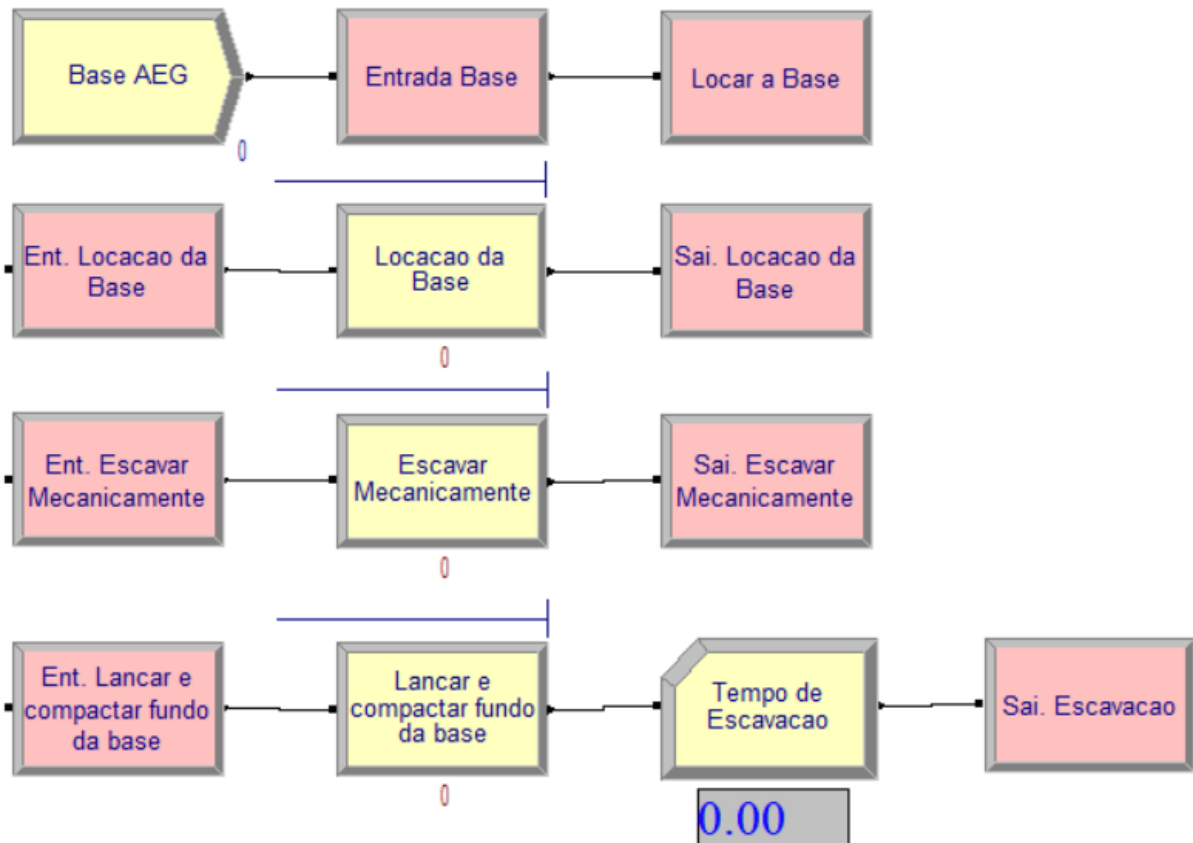
As distribuições de probabilidades com seus parâmetros nas atividades dos pacotes de serviços principais foram coletadas em dados históricos de obras já realizadas. Essas distribuições encontram-se descritas na Fase 3.2, a seguir.

- Fase 3.2. Processo construtivo do pacote de serviço

Nesta etapa, realiza-se a simulação dos processos produtivos de cada pacote de serviço com o objetivo de obter o tempo de execução da atividade.

O processo do Pacote de Serviço 1, “Escavar mecanicamente 1ª Fase”, é apresentado na Figura 21, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 7.

Figura 21 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 1



Fonte: O Autor (2020).

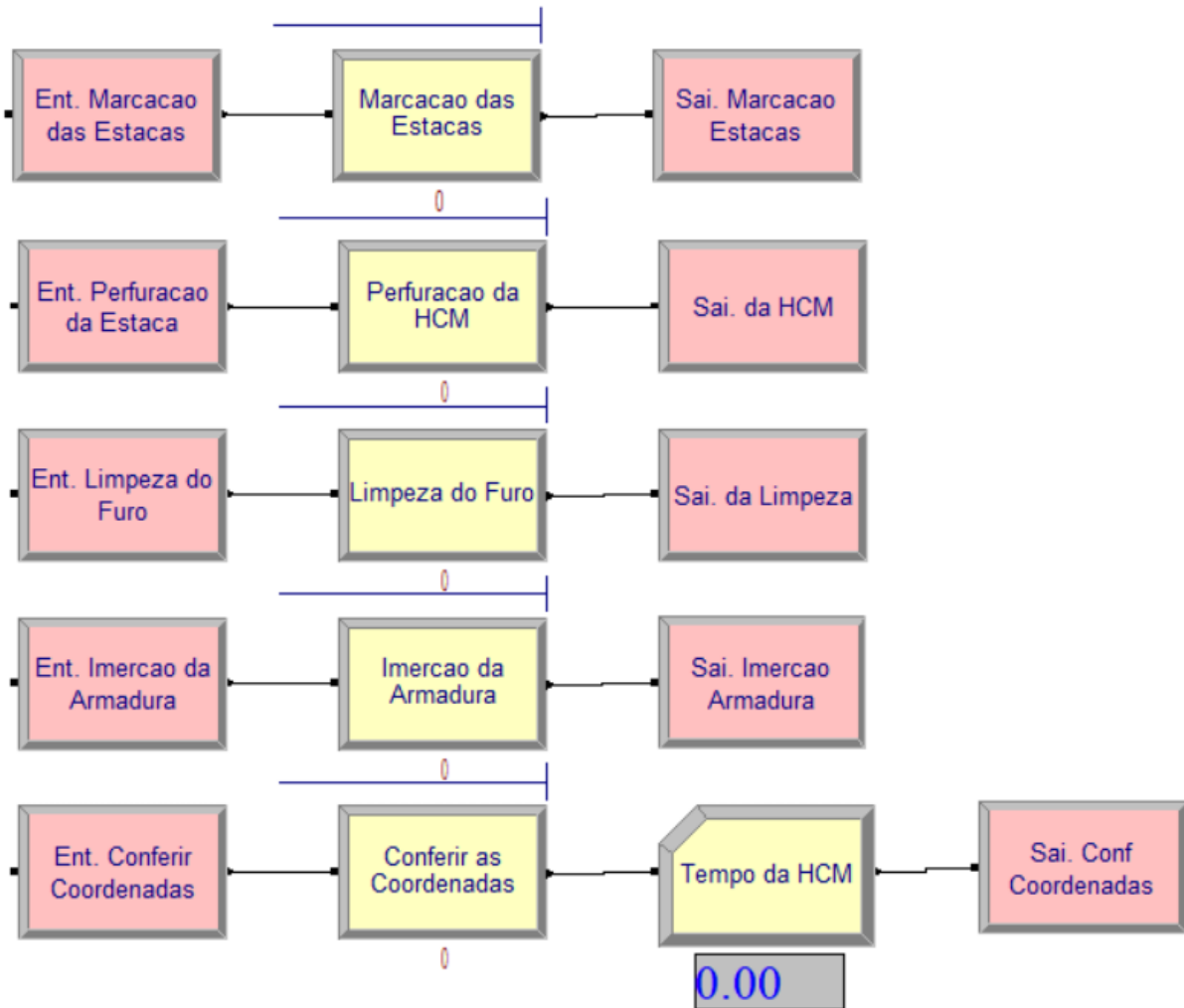
Tabela 7 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 1

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
	Locação da base	Tria	3,8	4	4,2
1. Escavar mecanicamente 1ª Fase	Escavar mecanicamente	Tria	7,5	8	8,1
	Lançar e compactar fundo da base	Tria	3	4	4,2

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 2, “Executar fundação (HCM)”, é apresentado na Figura 22, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 8.

Figura 22 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 2



Fonte: O Autor (2020).

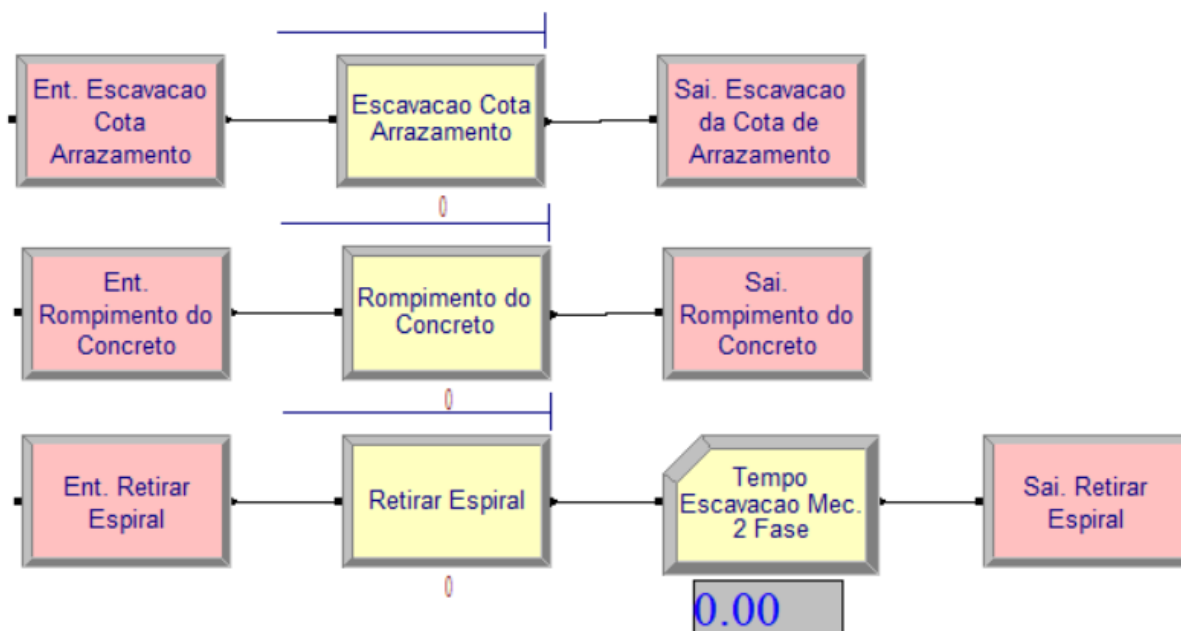
Tabela 8 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 2

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
	Marcação das estacas	Tria	0,5	1	1,5
	Perfuração da HCM	Tria	7,5	8	8,5
2. Executar fundação (HCM)	Limpeza do furo	Tria	0,2	0,5	0,8
	Imersão da armadura	Tria	0,05	0,1	0,15
	Conferência das coordenadas	Tria	1,5	2	2,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 3, “Escavar mecanicamente 2ª Fase”, é apresentado na Figura 23, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 9.

Figura 23 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 3



Fonte: O Autor (2020).

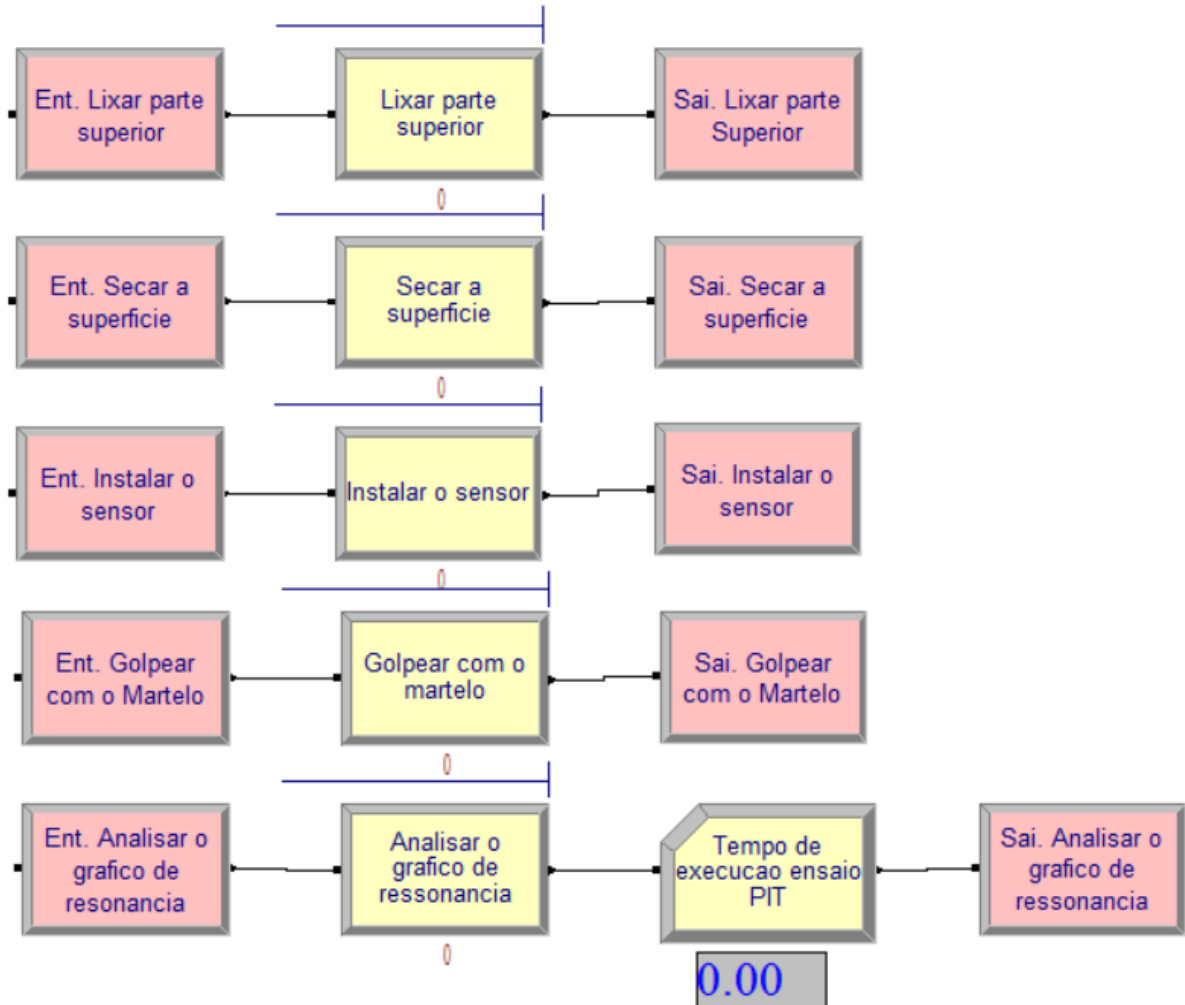
Tabela 9 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 3

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
3. Escavar mecanicamente 2ª Fase	Escavação da cota de arrasamento	Tria	3,5	4	4,5
	Rompimento do concreto	Tria	3	4	4,5
	Retirar espiral	Tria	2,8	3	3,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 4, “Executar ensaio PIT”, é apresentado na Figura 24, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 10.

Figura 24 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 4



Fonte: O Autor (2020).

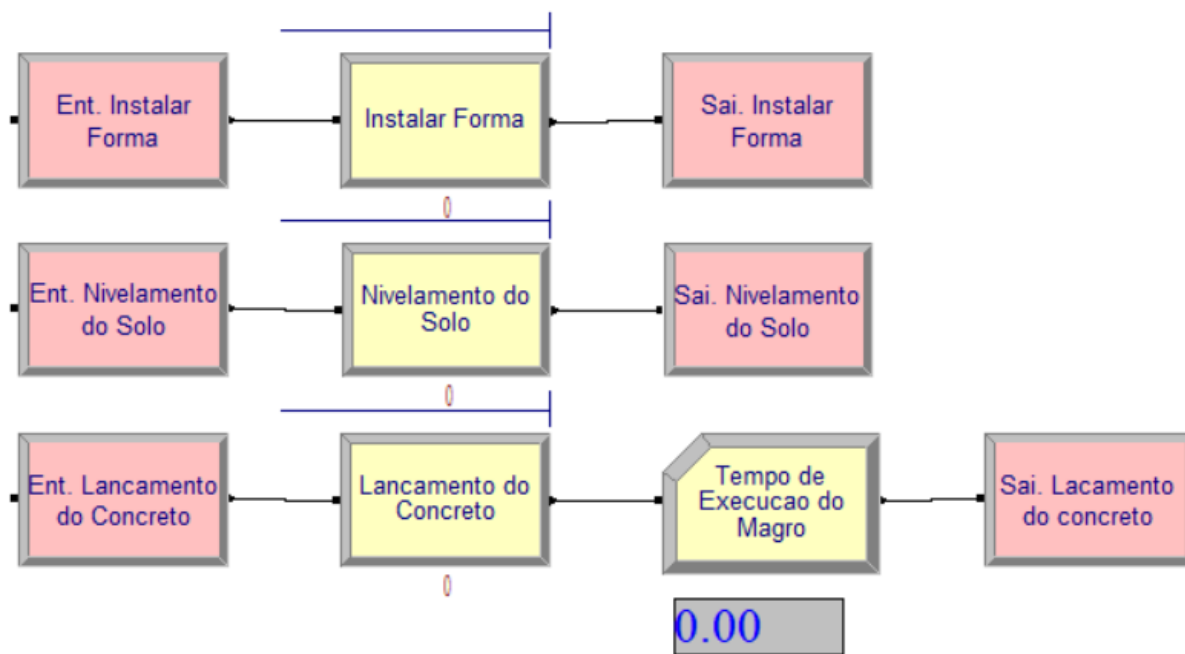
Tabela 10 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 4

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
4. Executar ensaio PIT	Lixar parte superior	Tria	0,8	1	1,2
	Secar a superfície	Tria	0,8	1	1,5
	Instalar o sensor	Tria	1,5	2	2,3
	Golpear com o martelo	Tria	0,5	1	1,2
	Análise do gráfico	Tria	0,5	1	1,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 5, “Executar concreto magro”, é apresentado na Figura 25, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 11.

Figura 25 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 5



Fonte: O Autor (2020).

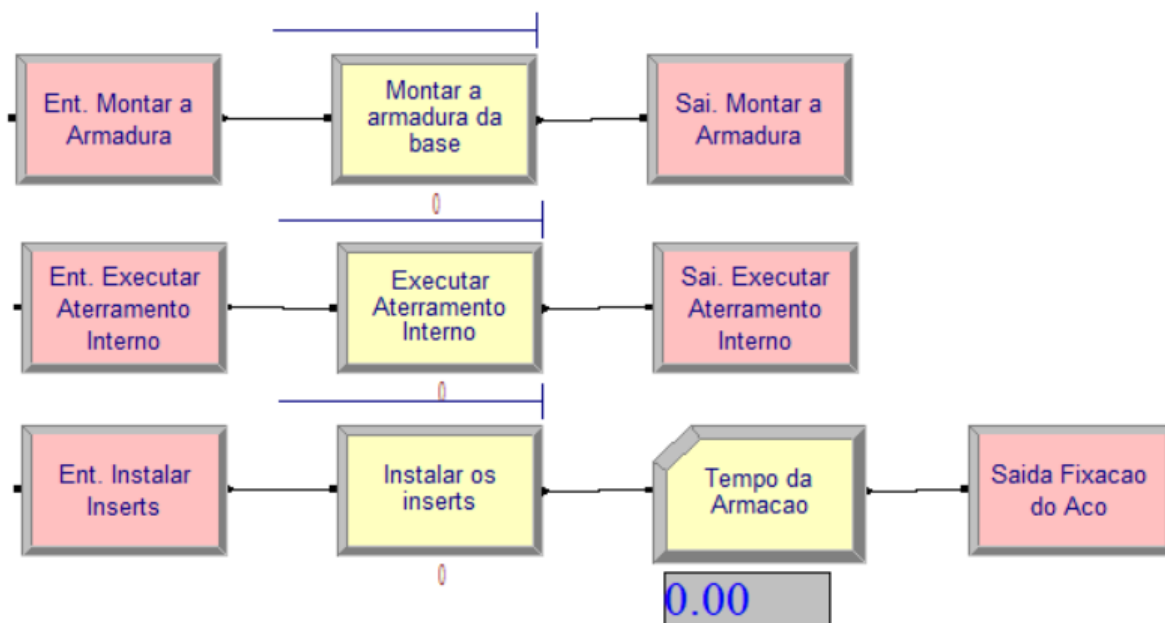
Tabela 11 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 5

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
5. Executar concreto magro	Instalar forma	Tria	1,9	2	2,8
	Nivelamento do solo	Tria	1,8	2	2,5
	Lançamento do concreto	Tria	3,8	4	4,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 6, “Executar armação da base”, é apresentado na Figura 26, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 12.

Figura 26 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 6



Fonte: O Autor (2020).

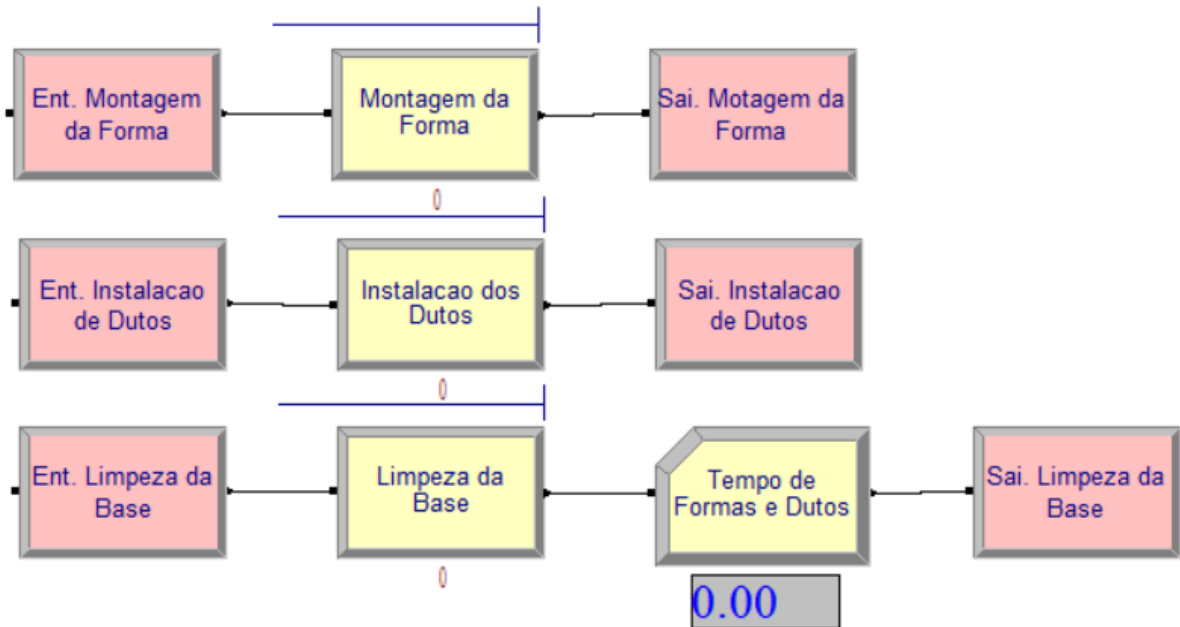
Tabela 12 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 6

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
6. Executar armação da base	Montar armadura da base	Tria	2,5	3	3,2
	Executar aterramento interno	Tria	2,9	3	3,5
	Instalar <i>inserts</i>	Tria	6,5	7	8

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 7, “Colocar forma e dutos”, é apresentado na Figura 27, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 13.

Figura 27 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 7



Fonte: O Autor (2020).

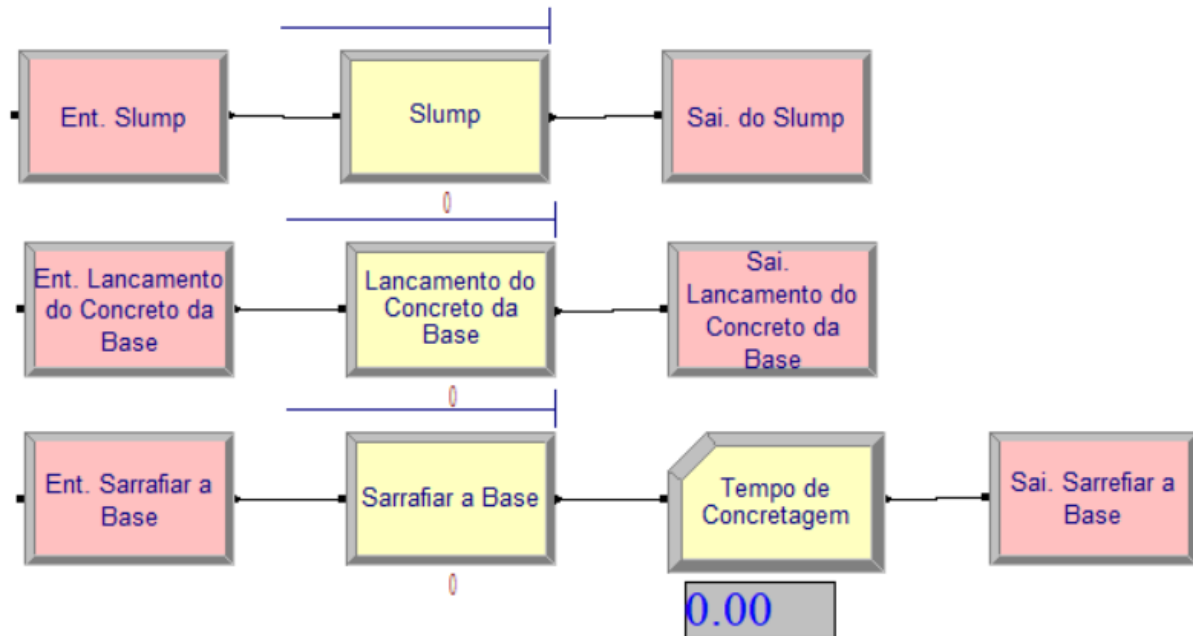
Tabela 13 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 7

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
7. Colocar forma e dutos	Montagem da forma	Tria	7,5	8	8,5
	Instalação dos dutos	Tria	7,8	8	8,5
	Limpeza da base	Tria	3,5	4	4,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 8, “Concretar base”, é apresentado na Figura 28, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 14.

Figura 28 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 8



Fonte: O Autor (2020).

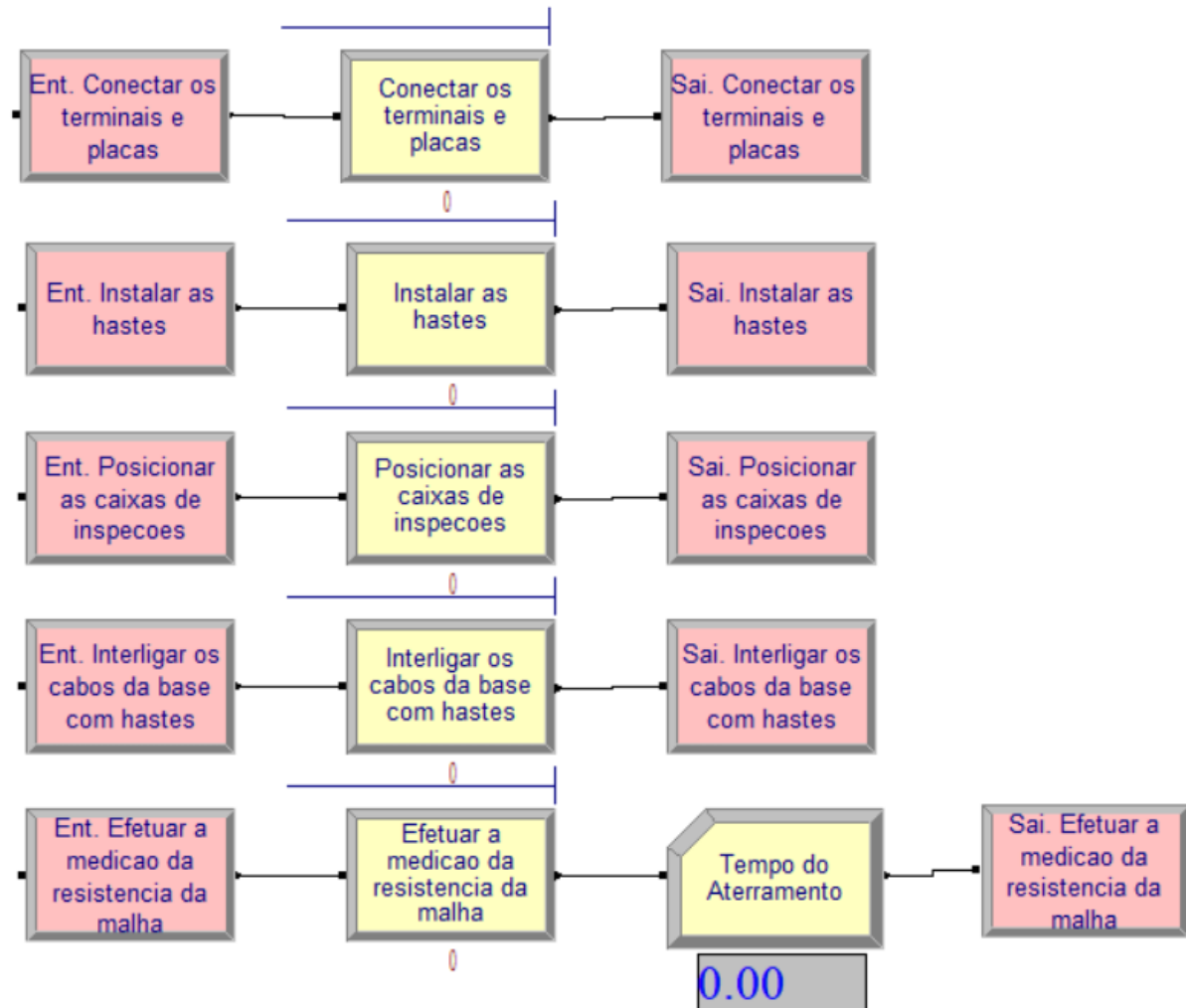
Tabela 14 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 8

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
8. Concretar base	Slump	Tria	0,4	0,5	0,8
	Lançamento do concreto da base	Tria	5,5	6	6,5
	Sarrafiar a base	Tria	1,5	2	2,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 9, “Executar aterramento externo”, é apresentado na Figura 29, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 15.

Figura 29 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 9



Fonte: O Autor (2020).

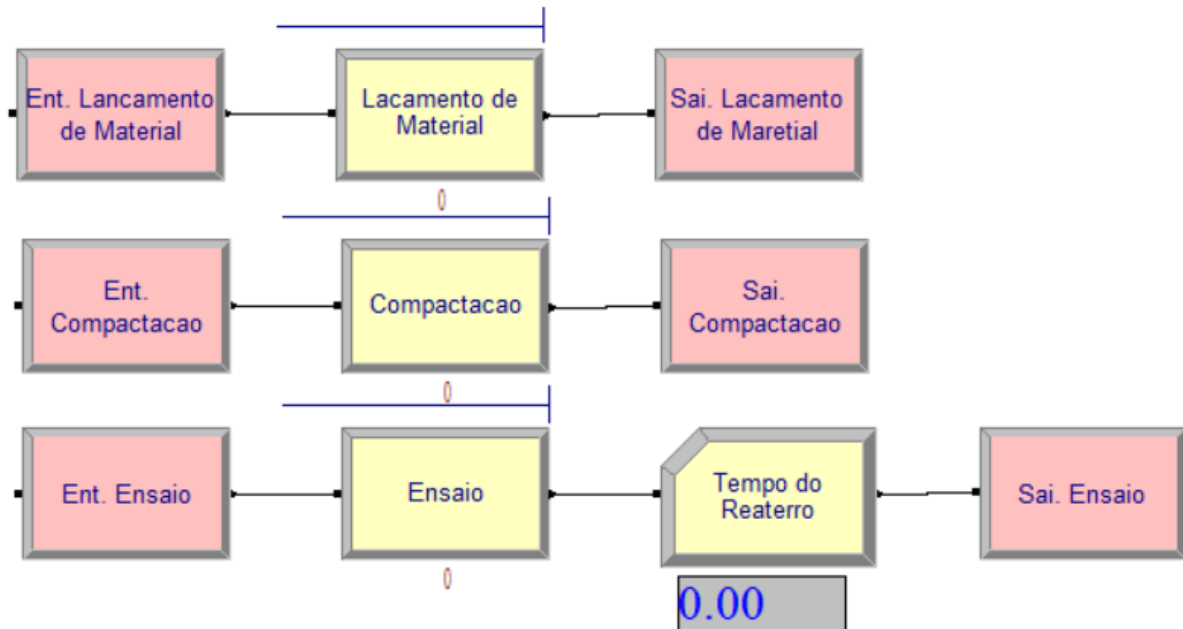
Tabela 15 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 9

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
9. Executar aterramento externo	Conectar os terminais e placas	Tria	1,9	2	2,5
	Instalar hastes	Tria	0,5	1	1,5
	Posicionar as caixas de inspeções	Tria	2,5	3	3,5
	Interligar os cabos da base com hastes	Tria	4,2	5	5,5
	Efetuar medição da resistência da malha	Tria	2,5	3	3,5

Fonte: O Autor (2020).

O processo do Pacote de Serviço 10, “Executar reaterro”, é apresentado na Figura 30, e os dados de entrada podem ser observados na Tabela 16.

Figura 30 – Modelagem do processo produtivo do Pacote de Serviço 10



Fonte: O Autor (2020).

Tabela 16 – Parâmetros de entrada das atividades do Pacote de Serviço 10

Pacote	Atividade	Distribuição	Mín.	Média	Máx.
10. Executar reaterro	Lançamento de material	Tria	3,5	4	4,5
	Compactação	Tria	2,5	3	3,5
	Ensaio	Tria	1,8	2	2,5

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 3.3. Saída dos dados do processo (duração da atividade)

O resultado da simulação forneceu informação do processo, como o tempo de execução do pacote de serviço e a taxa de utilização dos recursos envolvidos nos processos. Esse tempo de execução foi alimentado no dimensionamento da LOB, conforme descrito na Fase 1.2.

A Tabela 17, a seguir, apresenta os tempos de execução de cada pacote de serviço.

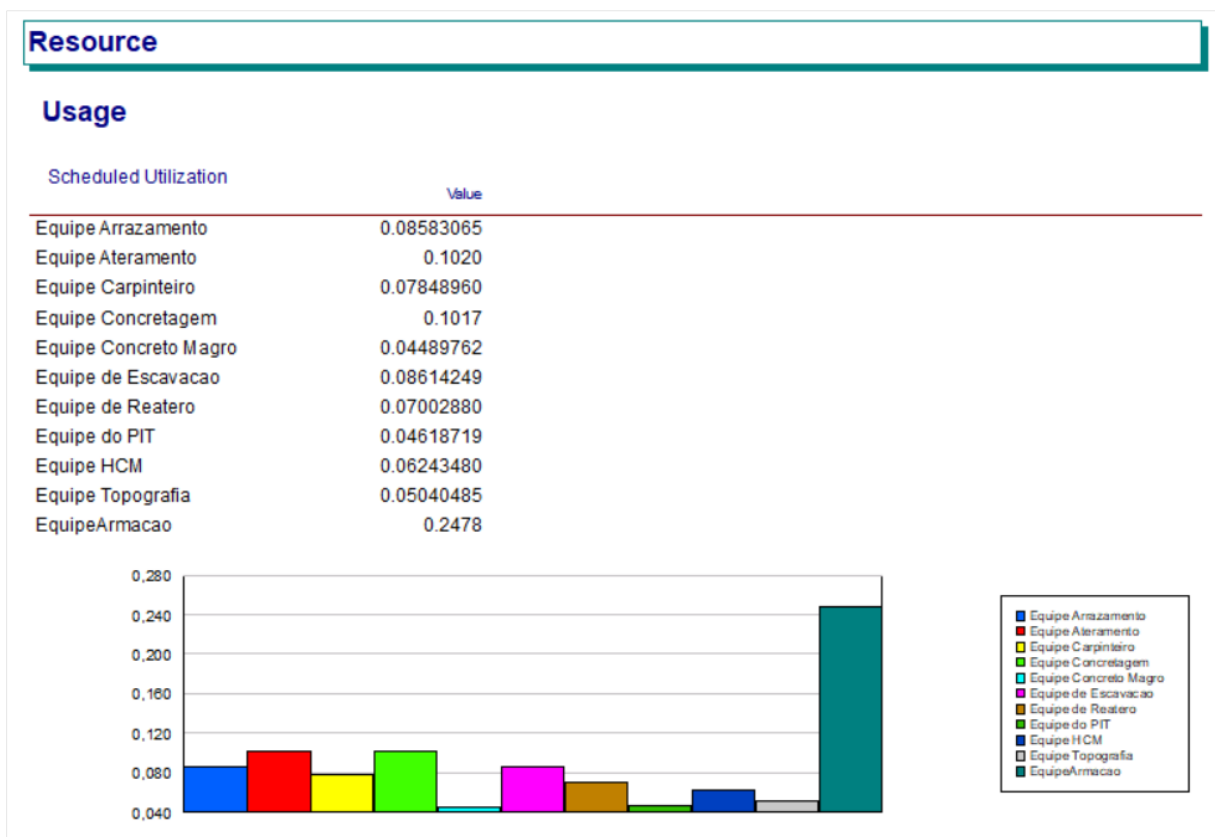
Tabela 17 – Tempo de execução dos pacotes de serviços após a simulação do processo

Pacote de serviços	Tempo de execução (h)
Pacotes: 1. Escavar mecanicamente 1ª Fase	15,31
Pacotes: 2. Executar fundação (HCM)	12,11
Pacotes: 3. Escavar mecanicamente 2ª Fase	13,32
Pacotes: 4. Executar ensaio PIT	6,09
Pacotes: 5. Executar concreto magro	8,01
Pacotes: 6. Executar armação da base	32,68
Pacotes: 7. Colocar forma e dutos	12,73
Pacotes: 8. Concretar base	8,95
Pacotes: 9. Executar aterramento externo	13,45
Pacotes: 10. Executar reaterro	9,24

Fonte: O Autor (2020).

O *software* Arena® possui relatórios padrões para apresentar os resultados da simulação. Na Figura 31, tem-se o resultado da taxa de utilização dos recursos.

Figura 31 – Taxa de utilização dos recursos após simulação dos processos













Fonte: O Autor (2020).

3.2.4 Estágio 4 – Identificação dos pacotes críticos

- Fase 4.1. Estimar a distribuição de probabilidade nas durações dos pacotes de serviço

A simulação de Monte Carlo foi realizada para incorporar o impacto dos riscos na duração total do projeto. A variável propensa a risco, que é o prazo de execução do pacote de serviço, recebeu função de distribuição de probabilidade *pert*. As formas e os valores mínimo/moda/máximo nas distribuições de probabilidade foram definidos por especialistas, com base em seu conhecimento prévio e nos dados históricos. Já a média é calculada conforme a distribuição. As informações sobre as funções de distribuição de probabilidade usadas para cada pacote de serviço são fornecidas na Tabela 18.

Tabela 18 – Dados de entrada

Pacote de serviços	Gráfico	Mín.	Média	Máx.
Pacotes: 1. Escavar mecanicamente 1ª Fase		19,8	22,9667	30
Pacotes: 2. Executar fundação (HCM)		19,8	23,8	35
Pacotes: 3. Escavar mecanicamente 2ª Fase		15	21,3333	25
Pacotes: 4. Executar ensaio PIT		10	11,5	15
Pacotes: 5. Executar concreto magro		9	11,3333	15
Pacotes: 6. Executar armação da base		22	25,5	35
Pacotes: 7. Colocar forma e dutos		19,8	22,9667	30
Pacotes: 8. Concretar base		10	12,3333	20
Pacotes: 9. Executar aterramento externo		20	22,6667	28
Pacotes: 10. Executar reaterro		10	11,8333	17

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 4.2. Geração aleatória de números de iterações por simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo foi realizada para 5.000 iterações usando *software* @RISK®, versão estudantil. Nesta etapa, o cronograma dos pacotes de serviços foi inserido no *software* com o objetivo de calcular a criticidade de cada pacote de serviço (Figura 32).

Figura 32 – Cronograma dos pacotes no @RISK

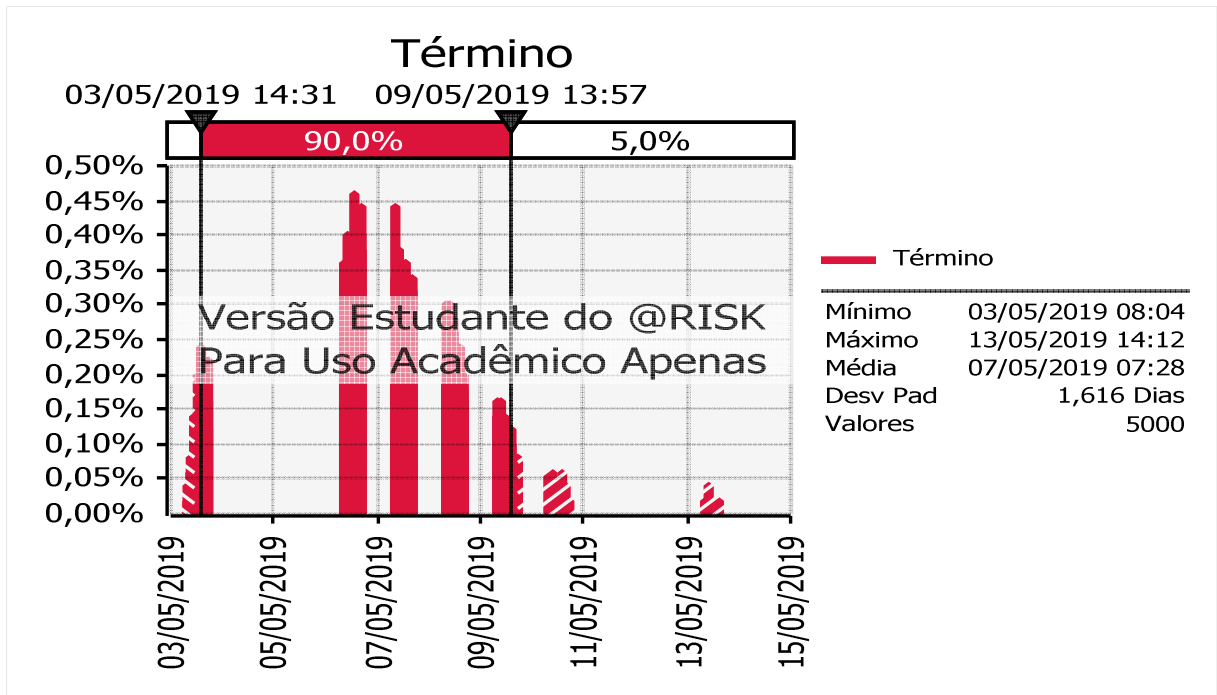
ID	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Nomes dos recursos	10/2/19	17/2/19	24/2/19	3/3/19	10/3/19	17/3/19	24/3/19
1	Cronograma dos Pacotes	59 dias	12/2/2019	3/5/2019									
2	Pacotes: 1.Escavar Mecanicamente 1ª Fase	22 dias	12/2/2019	13/3/2019									
3	Pacotes: 2.Executar Fundação (HCM)	22 dias	15/2/2019	18/3/2019	2 +3 dias								
4	Pacotes: 3.Escavar Mecanicamente 2ª Fase	22 dias	21/2/2019	22/3/2019	3 +4 dias								
5	Pacotes: 4.Executar Ensaio PIT	11 dias	8/3/2019	22/3/2019	4 +11 dias								
6	Pacotes: 5.Executar Concreto Magro	11 dias	11/3/2019	25/3/2019	5 +1 dia								
7	Pacotes: 6.Executar Armação da Base	24 dias	12/3/2019	12/4/2019	6 +1 dia								
8	Pacotes: 7.Colocar Forma e Dutos	22 dias	18/3/2019	16/4/2019	7 +12 dias								
9	Pacotes: 8.Concretar Base	11 dias	3/4/2019	17/4/2019	8 +12 dias								
10	Pacotes: 9.Executar Aterramento Externo	22 dias	4/4/2019	3/5/2019	9 +1 dia								
11	Pacotes: 10.Executar Reaterro	11 dias	19/4/2019	3/5/2019	10 +11 dias								

Fonte: O Autor (2020).

- Fase 4.3. Identificação das atividades críticas do cronograma

De acordo com os resultados da simulação apresentados na Figura 33, a probabilidade de exceder a duração do projeto foi de cerca de 90%, o que demonstra um risco alto de prazo.

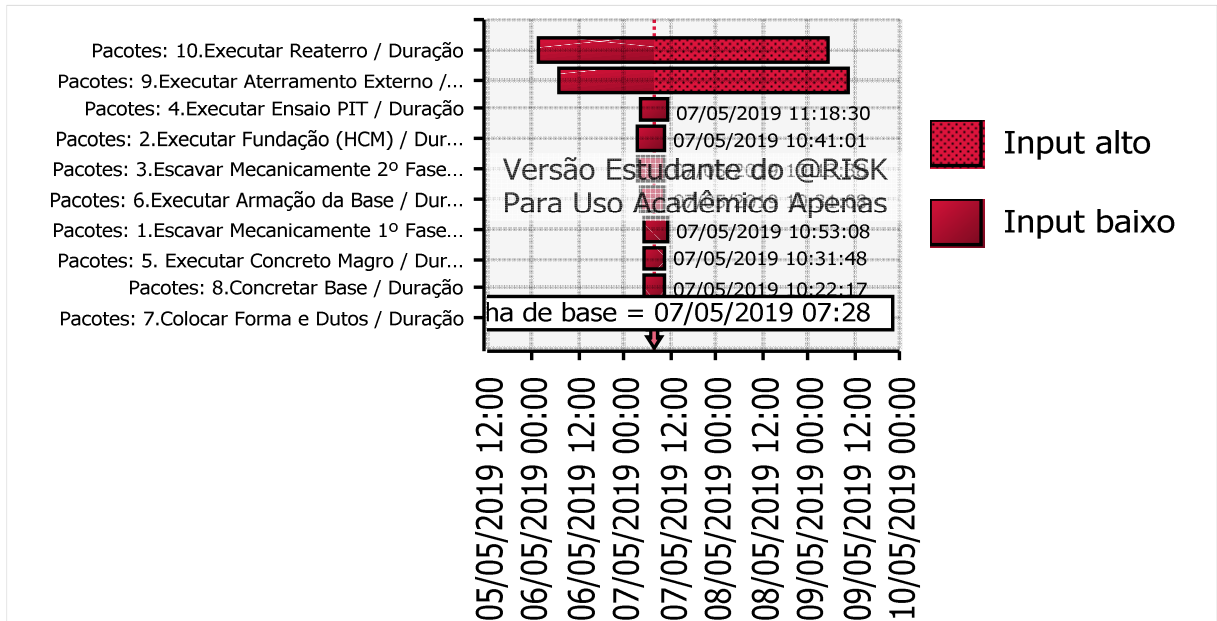
Figura 33 – Resultados da simulação para a duração total do projeto



Fonte: O Autor (2020).

Os pacotes de serviços que representam maiores fatores críticos que impactam sobre a variabilidade do projeto, em duração, são apresentados na Figura 34.

Figura 34 – Ordenação dos pacotes críticos ao cronograma



Fonte: O Autor (2020).

Com isso, na etapa de seleção dos fornecedores, o decisor deverá levar em consideração a criticidade dos pacotes de serviço, conforme dados apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Ordem de criticidade após simulação de Monte Carlo

Ordem de criticidade	Pacote de serviço	Custo (%)	Classificação dos pacotes de serviço
1º	10. Executar reaterro	5,44	Crítico
2º	9. Executar aterramento externo	4,12	
3º	4. Executar ensaio PIT	0,88	
4º	2. Executar fundação (HCM)	10,92	
5º	3. Escavar mecanicamente 2ª Fase	1,15	
6º	6. Executar armação da base	34,49	Intermediário
7º	1. Escavar mecanicamente 1ª Fase	4,58	
8º	5. Executar concreto magro	5,03	
9º	8. Concretar base	30,24	Não crítico
10º	7. Colocar forma e dutos	3,15	

Fonte: O Autor (2020).

3.2.5 Estágio 5 – Seleção de fornecedores

3.2.5.1 Matriz de consequência

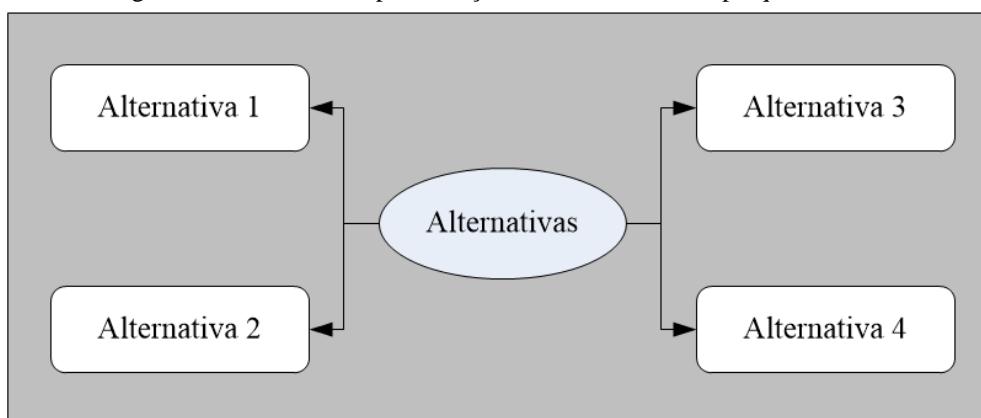
Na matriz de consequência são mostrados o conjunto de alternativas do problema, os critérios que representam os múltiplos objetivos a serem atingidos e as consequências de cada critério em relação às alternativas. Em seguida, mediante a avaliação intracritério, determina-se a função valor para cada um dos critérios de maneira normalizada e se constrói a matriz de decisão.

O conjunto de alternativas disposto aqui é discreto do tipo $CA_t = \{Ct_1, Ct_2, Ct_3, Ct_4\}$, onde:

- Ct_1 = Alternativa 1;
- Ct_2 = Alternativa 2;
- Ct_3 = Alternativa 3;
- Ct_4 = Alternativa 4.

A Figura 35 mostra uma representação das alternativas para escolha de fornecedores para a construção de parques eólicos.

Figura 35 – Alternativas para seleção de fornecedores de parques eólicos

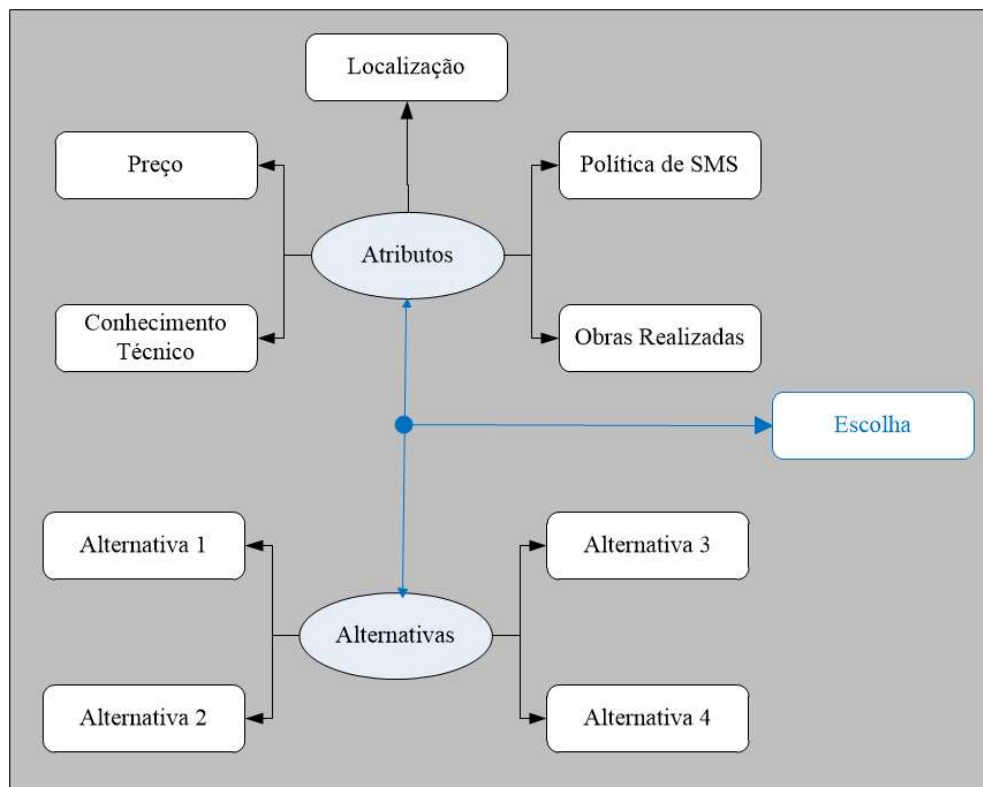


Fonte: O Autor (2020).

A família de atributos pode ser associada às alternativas (Figura 36), quais sejam:

- A_1 = Preço
- A_2 = Conhecimento técnico
- A_3 = Localização
- A_4 = Política de Segurança Meio Ambiente e Saúde (SMS)
- A_5 = Obras realizadas

Figura 36 – Associação entre atributos e alternativas para seleção de fornecedores de parques eólicos



Fonte: O Autor (2020).

A matriz de consequências representa a consequência de uma determinada alternativa com relação a um critério, chamada de P_{ij} , e para este problema apresenta-se de maneira determinística para todos os valores de P_{ij} , conforme visto na seção 2.3.4. As tabelas 19 a 28, a seguir, representam as matrizes de consequências para o problema de seleção dos fornecedores em cada pacote de serviço.

Tabela 19 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 1

Escavadeira hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor A	125,00	2	50	4	4
Fornecedor B	120,00	1	25	2	1
Fornecedor C	131,00	5	100	3	5
Fornecedor D	125,00	4	100	1	1
Fornecedor E	123,00	3	50	4	2

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 20 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 2

Perfuratriz hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor F	25.000,00	5	100	2	5
Fornecedor G	22.000,00	4	120	4	3
Fornecedor H	27.000,00	1	50	1	2
Fornecedor I	24.500,00	1	220	3	2
Fornecedor J	21.000,00	3	325	2	1

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 21 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 3

Escavadeira hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor K	125,00	4	50	4	4
Fornecedor L	120,00	1	25	2	1
Fornecedor M	131,00	5	100	4	5
Fornecedor N	125,00	2	100	1	1
Fornecedor O	123,00	3	50	3	2

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 22 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 4

Fornecedor do ensaio	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor P	30,00	1	85	2	4
Fornecedor Q	24,50	4	50	4	6
Fornecedor R	25,00	2	100	3	0
Fornecedor S	26,00	1	50	1	0
Fornecedor T	22,00	5	35	2	2

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 23 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 5

Concreto magro	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor U	284,00	2	70	2	3
Fornecedor V	300,00	3	65	1	2
Fornecedor X	250,00	1	70	3	2
Fornecedor W	233,00	5	50	4	4
Fornecedor Z	275,00	5	35	2	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 24 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 6

Aço CA 50mm	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor AA	3,45	4	300	4	0
Fornecedor AB	3,50	3	250	2	2
Fornecedor AC	3,33	1	250	2	3
Fornecedor AD	3,20	1	100	1	3
Fornecedor AE	3,45	5	310	3	2

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 25 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 7

Eletroduto	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor AF	2,00	5	83	2	3
Fornecedor AG	1,99	5	90	1	2
Fornecedor AH	3,00	4	100	3	0
Fornecedor AI	2,30	1	150	4	0
Fornecedor AJ	1,75	3	200	1	1

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 26 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 8

Cimento	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor AK	110,00	5	300	2	3
Fornecedor AL	120,00	4	250	4	2
Fornecedor AM	115,00	2	250	1	3
Fornecedor AN	109,00	5	300	1	2
Fornecedor AO	112,50	1	280	2	4

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 27 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 9

Material de aterramento	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor AP	20.000,00	1	1000	2	2
Fornecedor AQ	15.000,00	2	1500	4	2
Fornecedor AR	18.000,00	3	1500	1	3
Fornecedor AS	17.500,00	3	1200	3	1
Fornecedor AT	22.200,00	5	1000	2	3

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 28 – Matriz de consequência do Pacote de Serviço 10

Motoniveladora	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
Fornecedor AU	85,00	2	60	2	2
Fornecedor AV	82,00	1	55	1	0
Fornecedor AY	84,00	2	70	2	0
Fornecedor AX	87,50	4	55	3	2
Fornecedor AZ	90,00	5	80	4	3

Fonte: O Autor (2020).

3.2.5.2 Escolha do método multicritério utilizado

Foi adotado o método FITradeoff em função de que o decisor diante do problema apresentado caracterizou-se em um comportamento compensatório em suas escolhas, ou seja, que um fornecedor muito bom segundo um determinado critério, por exemplo o conhecimento técnico, pode compensar um comportamento ruim em outro critério, como o preço.

Outro motivo da escolha do método é que a elicitação no FITradeoff é flexível e interativa, pois, além de possuir uma forte estrutura axiomática, exige um menor esforço cognitivo dos decisores, evitando inconsistências. Mais uma característica que favorece o uso deste método é a redução no tempo de resolução do problema de seleção, fator preponderante na realidade das organizações atuais, em que os gestores têm cada vez menos tempo.

Para normalização do valor da matriz de consequências, foi utilizada a Equação (3.1), apresentada por Almeida (2013):

$$v'_j(a_i) = \frac{v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)}{\text{Max } v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)} \quad (3.1)$$

Onde:

$v_j(a_i)$ é o valor da avaliação da alternativa i para o critério j ;

$v'_j(a_i)$ é o valor normalizado da avaliação da alternativa i para o critério j ;

$\text{Min } v_j(a_i)$ é o menor desempenho para o critério j ;

$\text{Max } v_j(a_i)$ é o maior desempenho para o critério j .

Para obter a matriz de decisão, deve-se fazer uma avaliação intracritério onde se avalia cada alternativa i em relação a cada critério j para encontrar a função valor $v_j(a_i)$. A elaboração da função valor depende da avaliação das consequências de uma determinada alternativa com relação a um critério. A Tabela 29 mostra um exemplo de uma matriz de decisão.

Tabela 29 – Matriz de decisão

Alternativas	Critérios				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Ct_1	$v_1(a_1)$	$v_1(a_2)$	$v_1(a_5)$
Ct_2	$v_2(a_1)$	$v_2(a_2)$	$v_2(a_5)$
...
Ct_4	$v_1(a_1)$	$v_4(a_2)$	$v_1(a_5)$

Fonte: adaptada de Almeida (2013).

Primeiramente, antes do processo de ordenação das constantes de escala e elicitação das preferências, a matriz de decisão é inserida no Sistema de Apoio à Decisão (SAD) baseado no FITradeoff para problemática de escolha, descrito na seção 2.3.4, desenvolvido no Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID) e disponível no site www.fittradeoff.org, conforme Figura 37. Segundo Almeida e Ramos (2002), os sistemas de informação têm papel primordial na estratégia e sucesso das empresas, uma vez que tornam possível a disponibilização de informações com maior precisão e agilidade.

Figura 37 – Tela inicial do FITradeoff

The screenshot displays the FITradeoff software interface. It is divided into several sections:

- Input Values:** A table with columns for Criteria, Preço (R\$), Conhecimento Técnico, Localização (km), SMS, and Obra Realizadas (qtd). The first row shows values: 0, 0, 0, 0, 0. Below it are rows for Weights, type, and a parameter 'a'.
- ALTERNATIVES CONSEQUENCES MATRIX:** A table with 5 rows (Fornecedor A to E) and 6 columns (Preço, Conhecimento Técnico, Localização, SMS, Obra Realizadas, and an unlabeled column). The values are:

Fornecedor	Preço (R\$)	Conhecimento Técnico	Localização (km)	SMS	Obra Realizadas (qtd)	
Fornecedor A	125	2	50	4	4	
Fornecedor B	120	1	25	2	1	
Fornecedor C	131	5	100	3	5	
Fornecedor D	125	4	100	1	1	
Fornecedor E	123	3	50	4	2	
- Initial Order:** A list of criteria: Preço (R\$), Conhecimento Técnico, Localização (km), SMS, and Obra Realizadas (qtd). Below this are two buttons: "Step 1 (Ranking the Criteria Scaling Constants)" and "Step 2 (Flexible Elicitation)".
- Value of Equivalence Distance:** A section with a label "(Maximum difference between alternatives)" and a text input field containing the value "0.01".

Fonte: O Autor (2020).

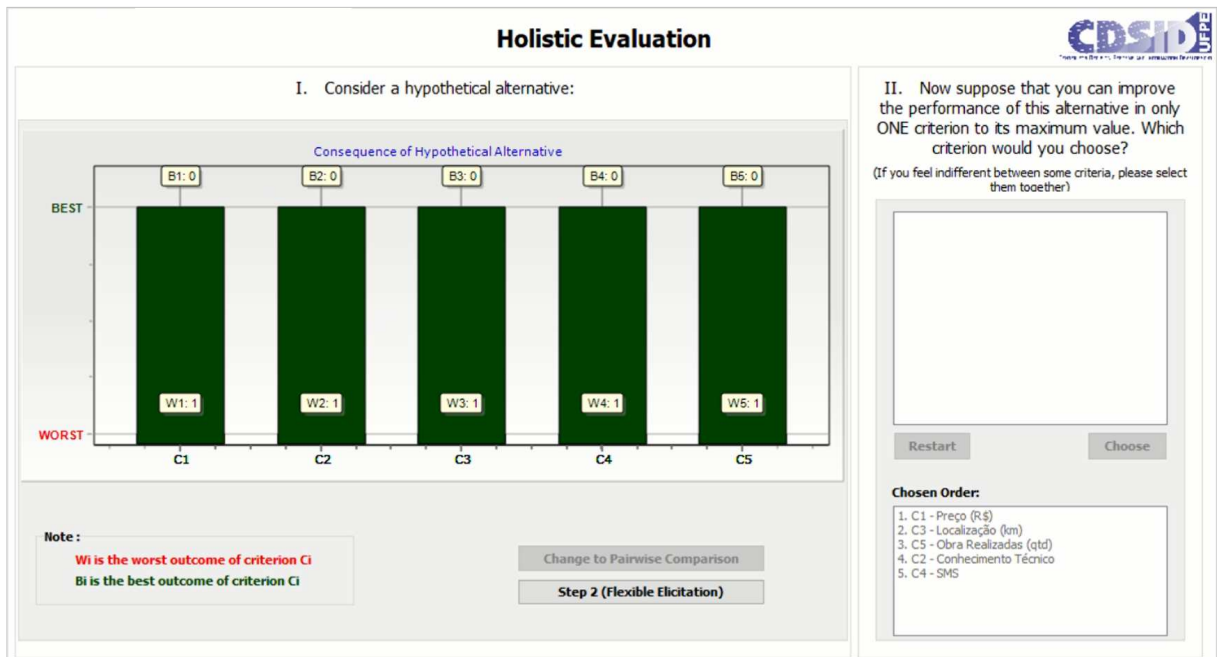
No Apêndice A, encontram-se as tabelas referentes às matrizes de decisão para a escolha dos fornecedores de cada pacote de serviço para construção do parque eólico, já com os valores de $v'_j(a_i)$, que representa a avaliação intracritério de maneira normalizada, contemplando a ordem de criticidade do pacote, conforme o Fase 3.3 deste estudo.

- Fase 5.1. Ordenação dos critérios das constates de escala

Nesta etapa são realizadas as ordenações das constates de escalas (K_j) por pacote de serviço e de acordo com a criticidade da atividade no cronograma.

Para o Pacote de Serviço 1, “Escavar mecanicamente 1ª Fase”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da escavadeira hidráulica, com nível de criticidade 7, a ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Obras\ realizadas} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{SMS}$, conforme Figura 38.

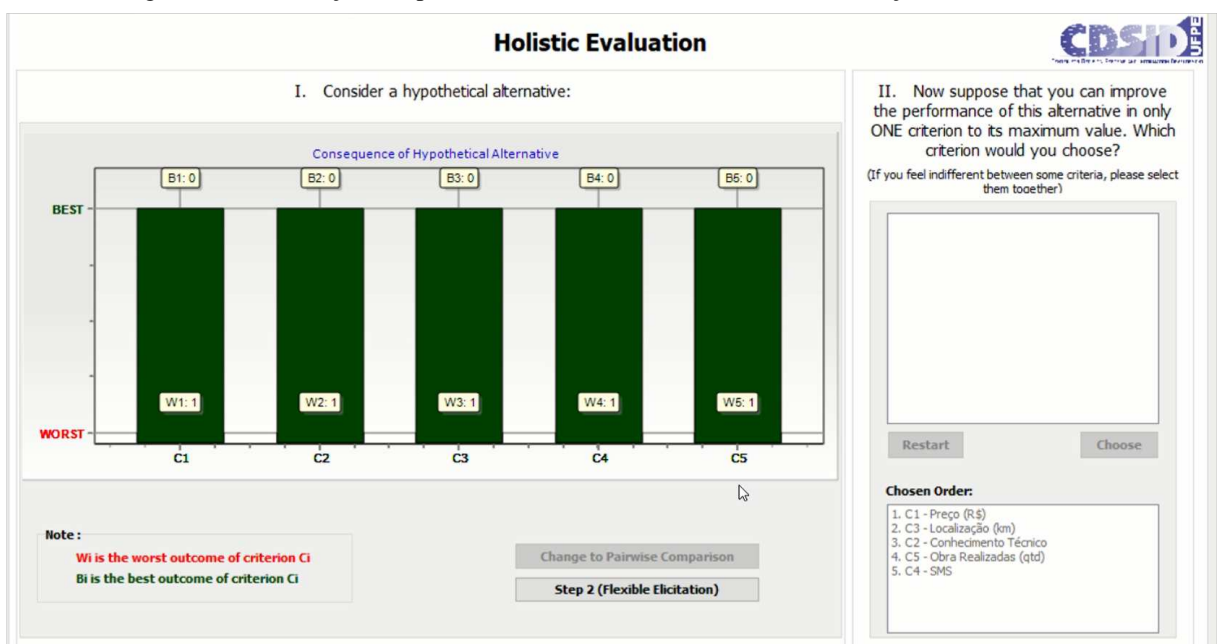
Figura 38 – Ordenação das preferências dos critérios de escala do Pacote de Serviço 1 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 2, “Executar fundação (HCM)”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da perfuratriz hidráulica, com nível de criticidade 4, a ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Obras\ realizadas} > K_{SMS}$, conforme Figura 39.

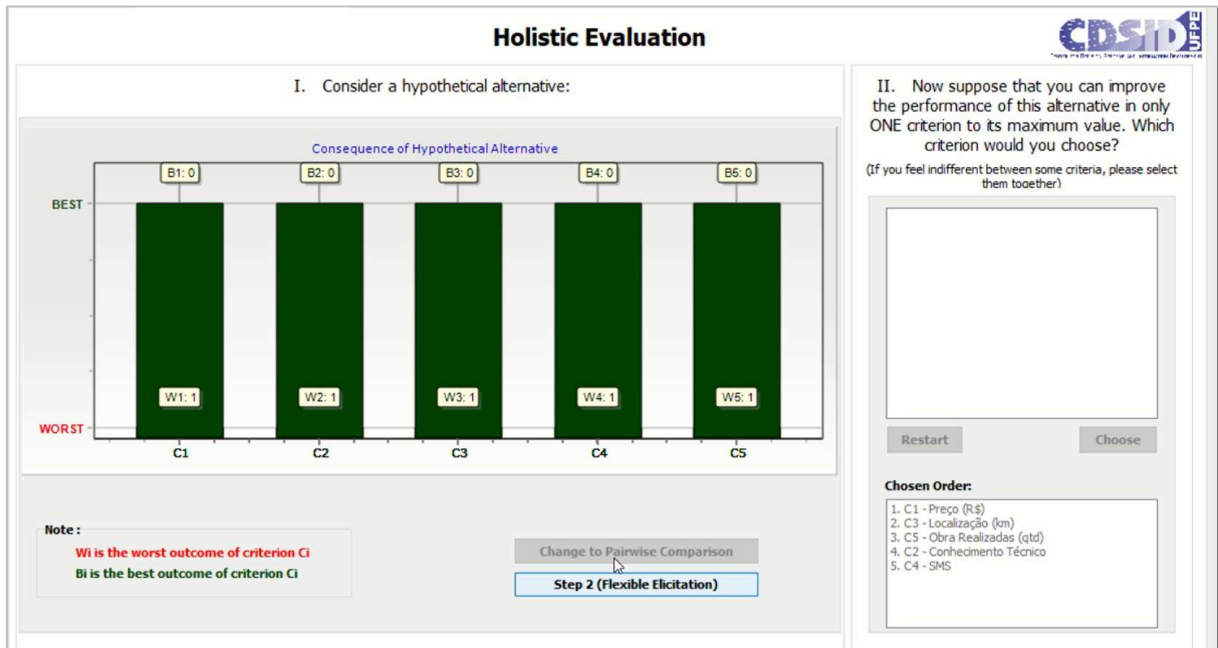
Figura 39 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 2 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 3, “Escavar mecanicamente 2ª Fase”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de escavadeira hidráulica, com nível de criticidade 5. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Obras\ realizadas} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{SMS}$, conforme Figura 40.

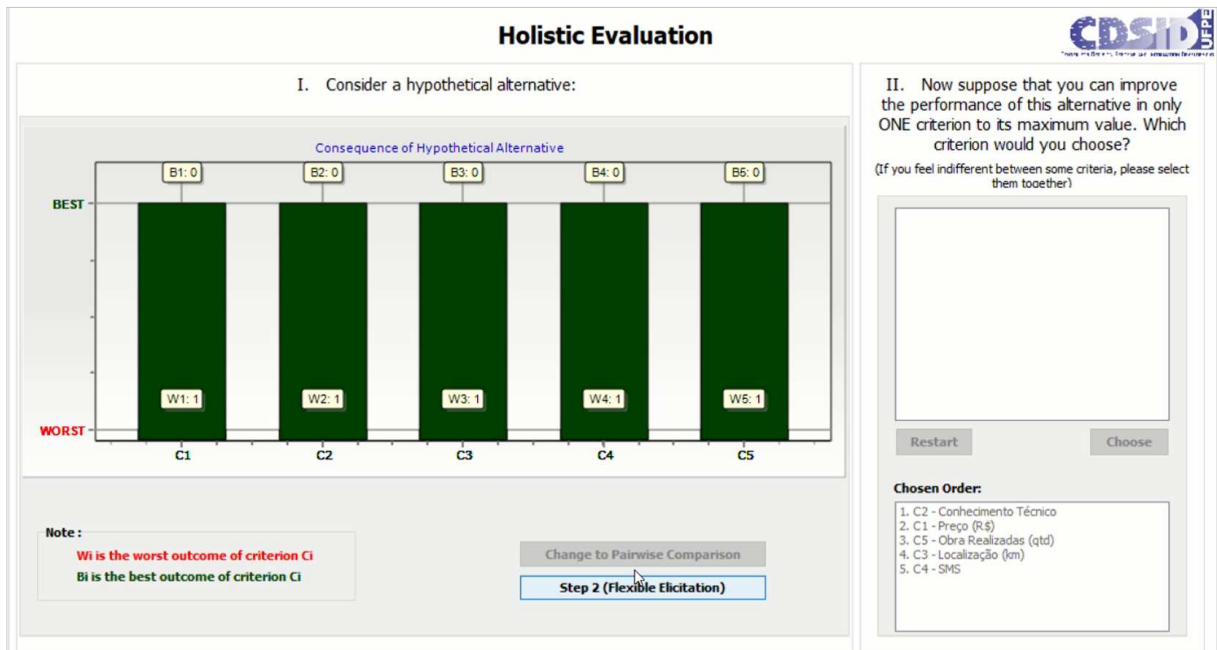
Figura 40 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 3 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 4, “Executar ensaio PIT”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do ensaio PIT, com nível de criticidade 3. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Preço} > K_{Obras\ realizadas} > K_{Localização} > K_{SMS}$, conforme Figura 41.

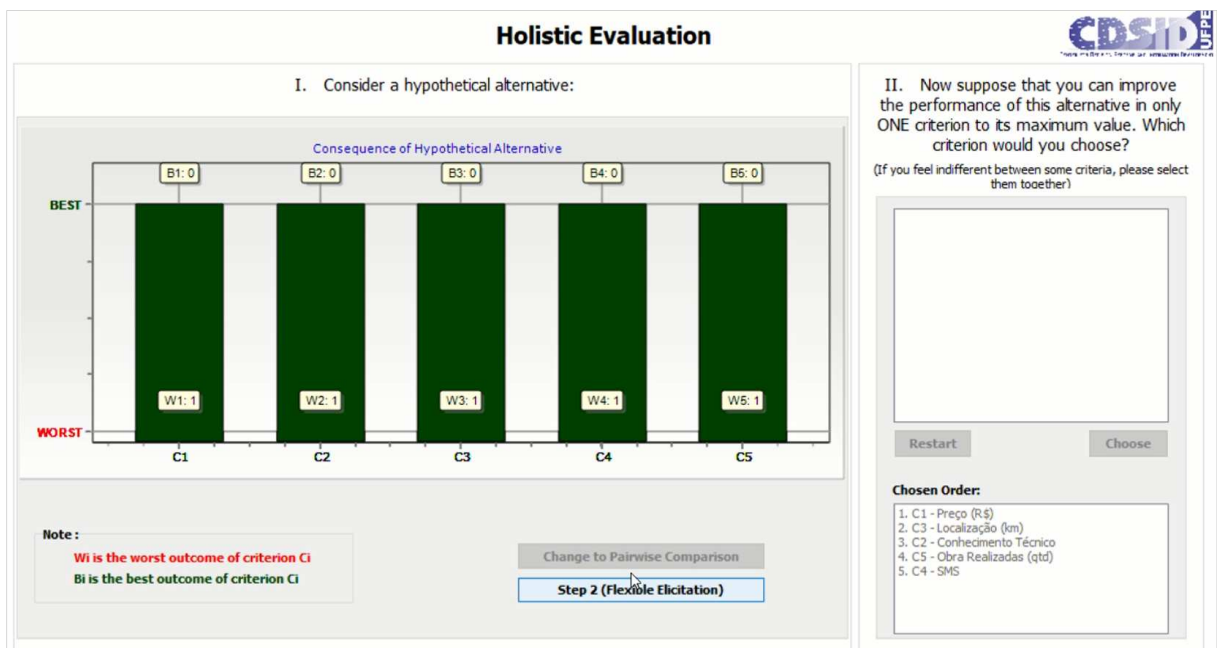
Figura 41 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 4 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 5, “Executar concreto magro”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de concreto, com nível de criticidade 8. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Obras\ realizadas} > K_{SMS}$, conforme Figura 42.

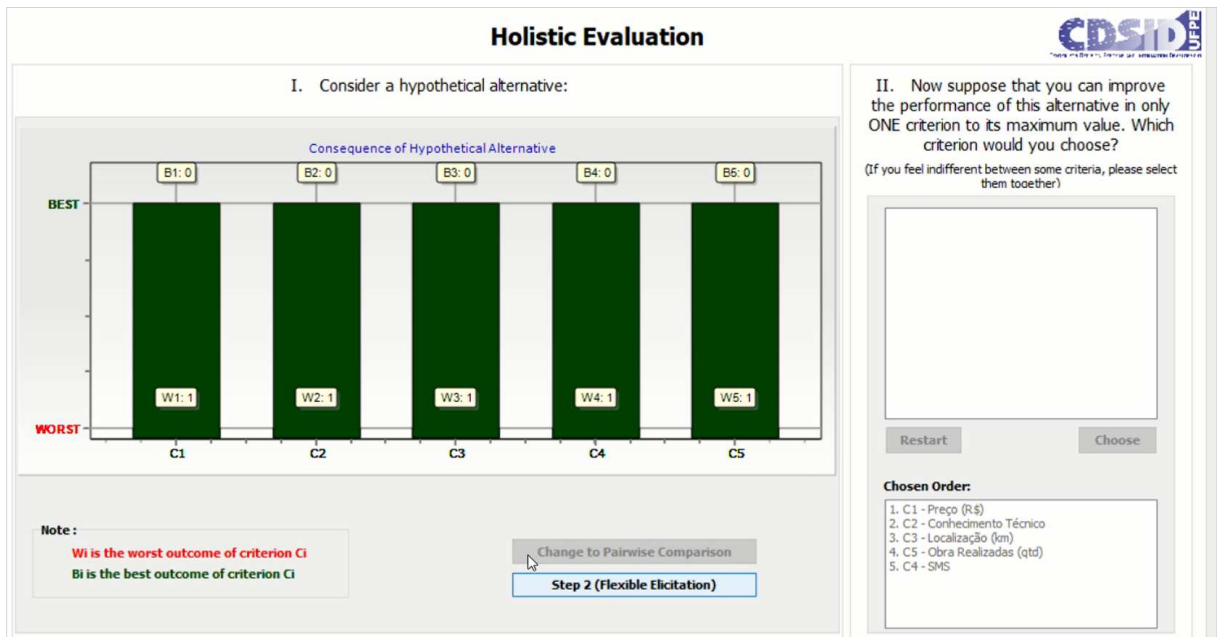
Figura 42 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 5 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 6, “Executar armação da base”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de aço CA 50 mm, com nível de criticidade 6. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Localização} > K_{Obras\ realizadas} > K_{SMS}$, conforme Figura 43.

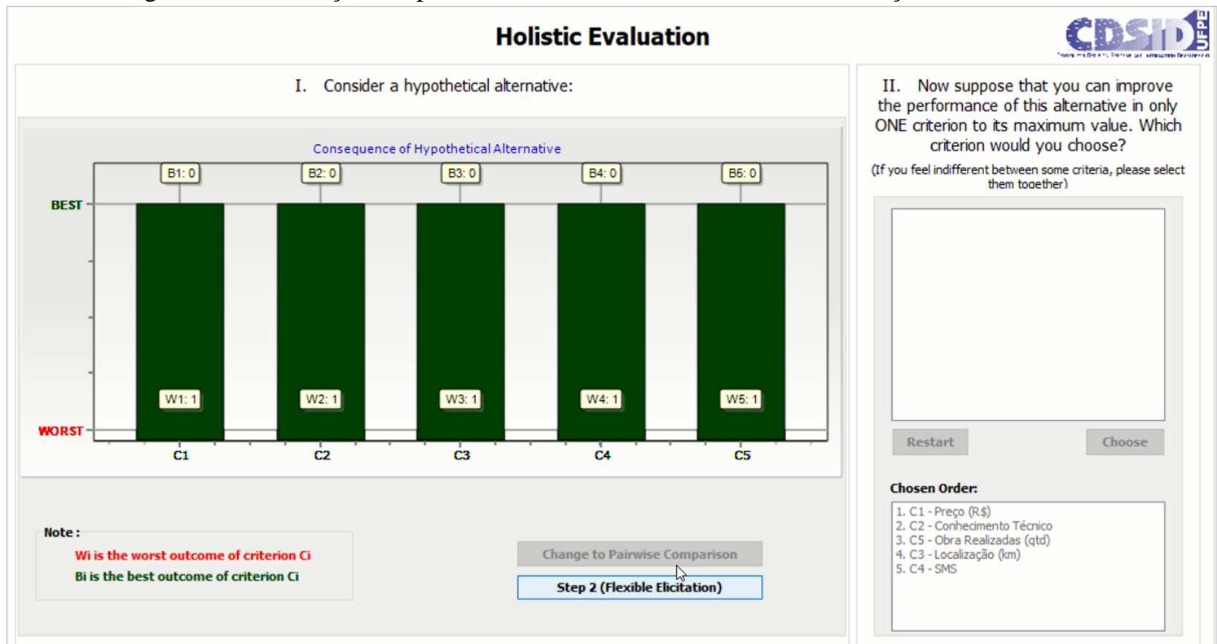
Figura 43 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 6 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 7, “Colocar forma e dutos”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do eletroduto, com nível de criticidade 10. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Obras\ realizadas} > K_{Localização} > K_{SMS}$, conforme Figura 44.

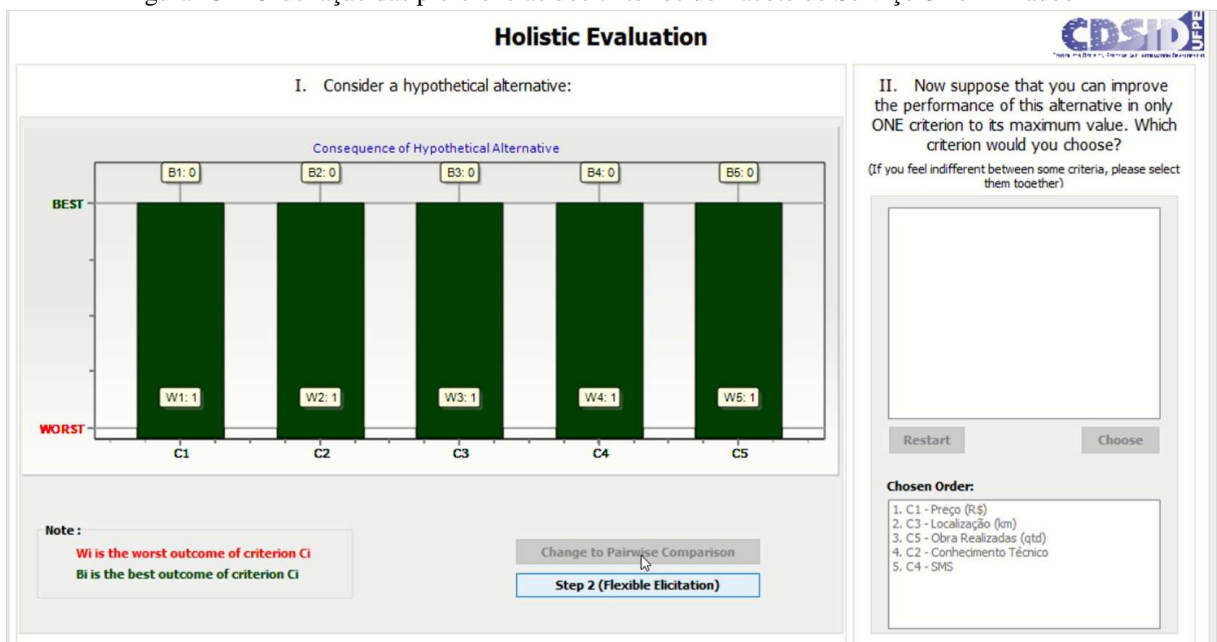
Figura 44 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 7 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 8, “Concretar base”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de cimento, com nível de criticidade 9. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Obras\ realizadas} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{SMS}$, conforme Figura 45.

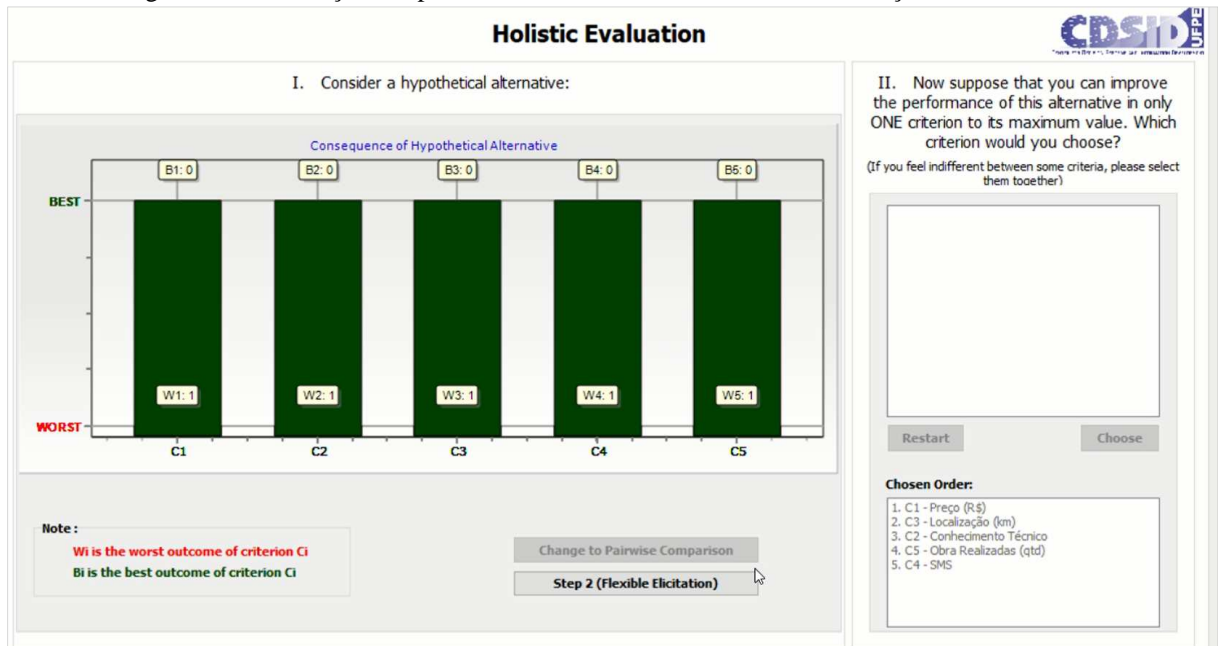
Figura 45 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 8 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 9, “Executar aterramento externo”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do material de aterramento, com nível de criticidade 2. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Preço} > K_{Localização} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Obras\ realizadas} > K_{SMS}$, conforme Figura 46.

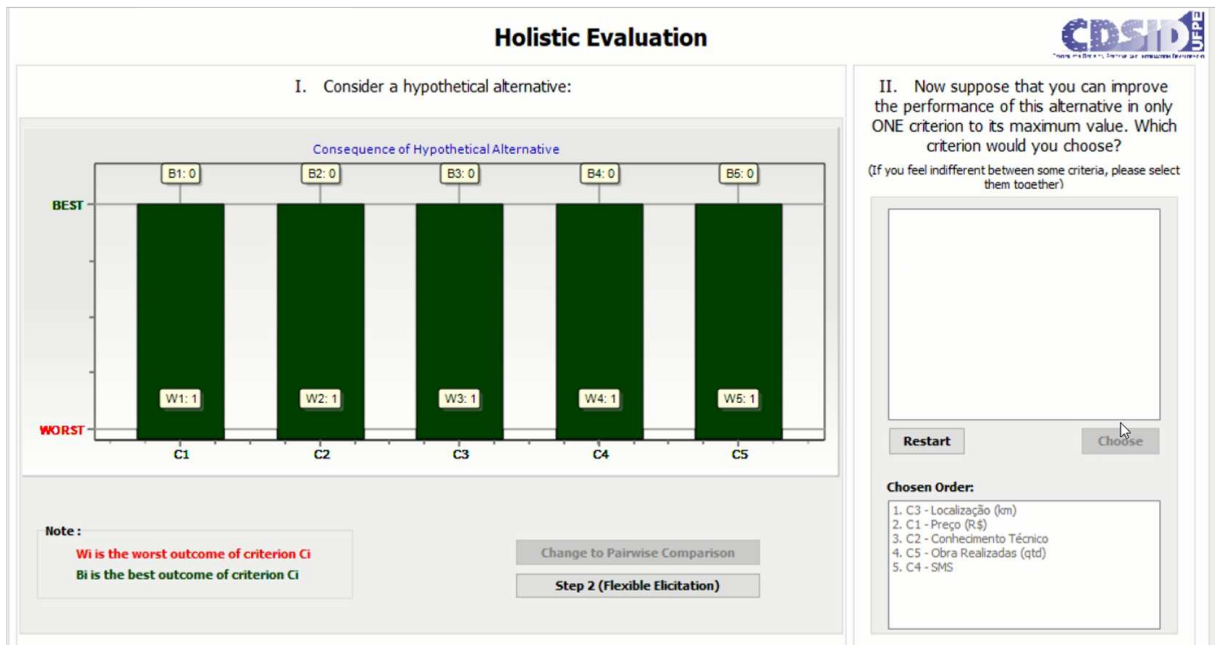
Figura 46 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 9 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

Para o Pacote de Serviço 10, “Executar reaterro”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da motoniveladora, com nível de criticidade 1. A ordem de preferência dos critérios pelo decisor foi: $K_{Localização} > K_{Preço} > K_{Conhecimento\ técnico} > K_{Obras\ realizadas} > K_{SMS}$, conforme Figura 47.

Figura 47 – Ordenação das preferências dos critérios do Pacote de Serviço 10 no FITradeoff



Fonte: O Autor (2020).

- Fase 5.2. Avaliação intercritério

Na etapa, é realizado o processo de eliciação das constantes de escala, onde uma série de questões sobre preferências é executada pelo FITradeoff ao decisor, ou seja, em cada resposta o decisor afirma qual consequência oferece o melhor desempenho.

Para obter mais relações entre as constantes de escala, foram apresentados ao decisor vários cenários hipotéticos, cada um com duas situações (consequências A e B), no qual ele deveria indicar sua preferência em relação à consequência A ou B, se eram indiferentes ou se não desejavam responder. Esse procedimento aplica-se a cada pacote de serviço conforme veremos adiante.

Para o Pacote de Serviço 1, “Escavar mecanicamente 1ª Fase”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da escavadeira hidráulica, com nível intermediário de criticidade, após a ordenação das preferências do decisor a solução ótima foi obtida conforme Figura 48. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer*: 3).

Figura 48 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 1

The screenshot shows a software interface for eliciting preferences. The main window is titled "Which consequence do you prefer?" and asks the user to answer questions by choosing one option. It is divided into two panels: "Consequence A" and "Consequence B".

Consequence A:

- C1: W1: 131, B1: 120
- C2: X2: 62.5
- C3: W3: 1, B3: 5
- C4: W4: 1, B4: 5
- C5: W5: 1, B5: 4

Consequence B:

- W1: 131, B1: 120
- W2: 100, B2: 25
- W3: 1, B3: 5
- W4: 1, B4: 5
- W5: 1, B5: 4

Options:

- Consequence A
- Consequence B
- Indifferent
- No Answer
- Inconsistency

Number of Questions Answered: 2
Number of Potentially Optimal Alternatives: 3

Chosen Order:

- C1 - Preço (R\$)
- C2 - Localização (km)
- C3 - Obra Realizadas (qtd)
- C4 - Conhecimento Técnico
- C5 - SMS

Equivalence Test:
(Maximum difference between P. O. A.s)

Between	Max. Difference
Forneceador A - Forneceador	0.07070000
Forneceador B - Forneceador	0.45500000
Forneceador A - Forneceador	0.03410000
Forneceador E - Forneceador	0.18700000

Note:

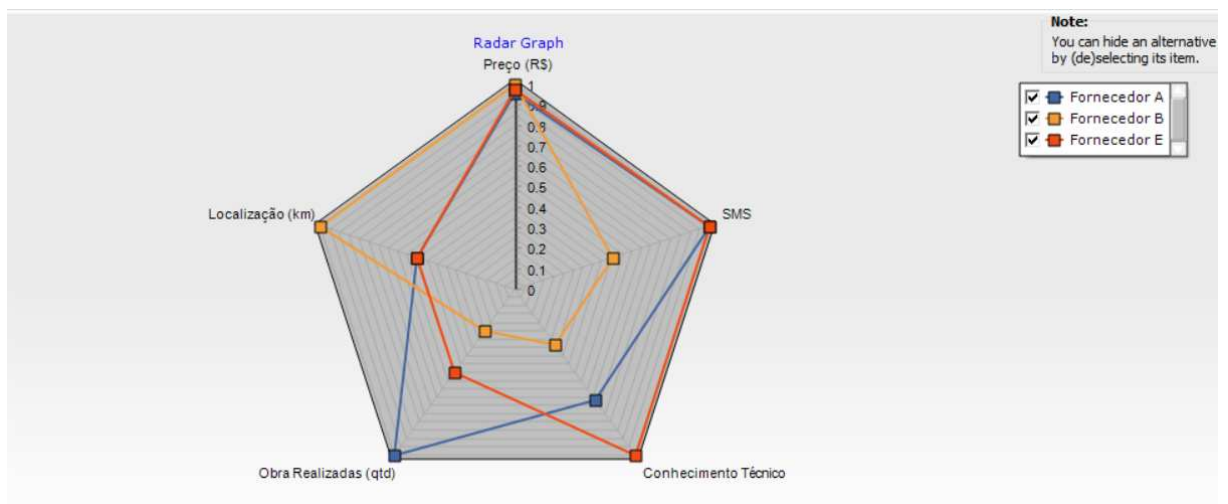
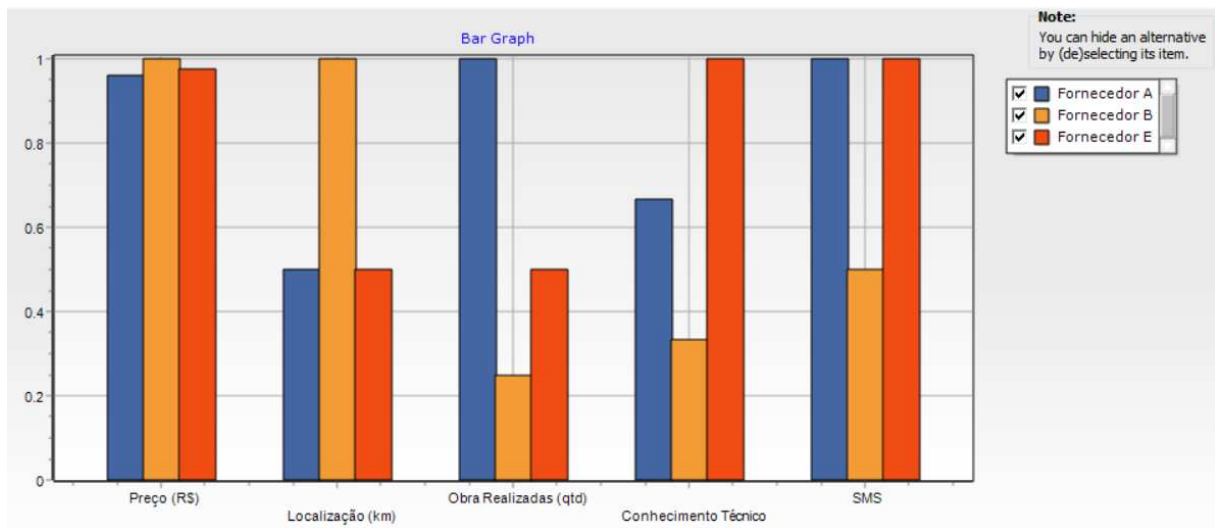
- W_i is the worst outcome of criterion C_i
- X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
- B_i is the best outcome of criterion C_i

Fonte: O Autor (2020).

Após a etapa de ordenação, os fornecedores C e D foram eliminados, restando como alternativas potencialmente ótimas os fornecedores A, B e E. Nesta etapa, o decisor poderia analisar graficamente a performance das alternativas não dominadas, mostradas na Figura 49.

O gráfico mostra a performance das alternativas nos critérios em uma escala de razão normalizada de 0 a 1, de acordo com a ordem de critérios determinada pelo decisor da esquerda para a direita. Cada cor de barra representa uma alternativa. Analisando a Figura 49, pode-se notar que os fornecedores A, B e E estão praticamente empatados em termos de preço, mas o fornecedor B tem vantagem no critério localização, e é pior nos critérios obras realizadas, conhecimento técnico e SMS comparado com os fornecedores A e E. O fornecedor A, leva vantagem no critério obras realizadas. Já o fornecedor E leva vantagem no critério conhecimento técnico.

Figura 49 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 1



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 2, “Executar fundação (HCM)”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da perfuratriz hidráulica tendo nível crítico, é apresentado na Figura 50. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 2*).

Figura 50 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 2

The screenshot shows a software interface titled "Which consequence do you prefer?" with the instruction "Answer the questions by choosing one option". The interface is divided into two main panels: "Consequence A" and "Consequence B".

Consequence A Data:

Criterion	Worst (W)	Best (B)
C1	W1: 27000	B1: 21000
C2	X2: 187.5	
C3	W3: 1	B3: 5
C4	W4: 1	B4: 5
C5	W5: 1	B5: 4

Consequence B Data:

Criterion	Worst (W)	Best (B)
C1	W1: 27000	B1: 21000
C2	W2: 325	B2: 50
C3		B3: 5
C4	W4: 1	B4: 5
C5	W5: 1	B5: 4

Options:

- Consequence A
- Consequence B
- Indifferent
- No Answer
- Inconsistency

Number of Questions Answered: 2
Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Chosen Order:

- C1 - Preço (R\$)
- C2 - Localização (km)
- C3 - Conhecimento Técnico
- C4 - Obras Realizadas (qtd)
- C5 - SMS

Equivalence Test:
(Maximum difference between P, O, A.s)

Between	Max. Difference
Fornecedor F - Fornecedor	0.08070000
Fornecedor G - Fornecedor	10.30900000

Note:

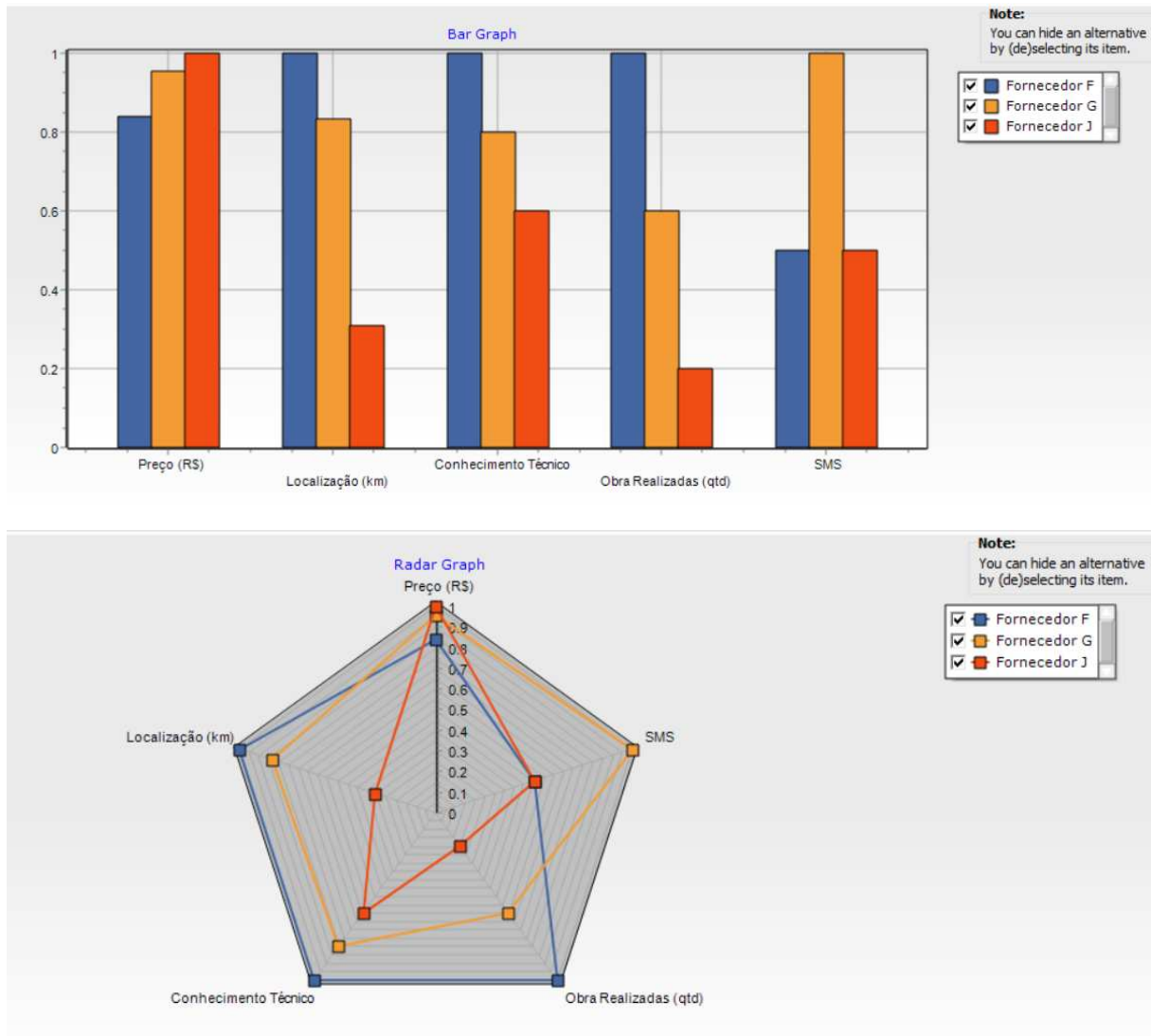
- W_i is the worst outcome of criterion C_i
- X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
- B_i is the best outcome of criterion C_i

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 51, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores F, G e J.

Analisando a Figura 51, pode-se notar que o fornecedor J é o melhor no critério preço e pior nos critérios localização, conhecimento técnico e obras realizadas. Já o fornecedor F leva vantagem nos critérios de localização, conhecimento técnico e obras realizados. O fornecedor G leva vantagem no critério de SMS.

Figura 51 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 2



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 3, “Escavar mecanicamente 2ª Fase”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de escavadeira hidráulica, com nível crítico, é apresentado na Figura 52. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 2*).

Figura 52 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 3

The screenshot shows a software interface for decision elicitation. The main window is titled "Which consequence do you prefer?" and asks the user to answer questions by choosing one option. It is divided into two panels: "Consequence A" and "Consequence B".

Consequence A Data:

Criterion	Worst (Wi)	Best (Bi)
C1	W1: 131	B1: 120
C2	W2: 100	B2: 25
C3	X3: 3	
C4	W4: 1	B4: 5
C5	W5: 1	B5: 4

Consequence B Data:

Criterion	Worst (Wi)	Best (Bi)
C1	W1: 131	B1: 120
C2	W2: 100	B2: 25
C3	W3: 1	B3: 5
C4		B4: 5
C5	W5: 1	B5: 4

Control Panel (Right):

- Options:
 - Consequence A
 - Consequence B
 - Indifferent
 - No Answer
 - Inconsistency
- Buttons: OK, Show Current Results, Stop Elicitation
- Statistics:
 - Number of Questions Answered: 3
 - Number of Potentially Optimal Alternatives: 2
- Chosen Order:
 - C1 - Preço (R\$)
 - C2 - Localização (km)
 - C3 - Obra Realizadas (qtd)
 - C4 - Conhecimento Técnico
 - C5 - SMS
- Equivalence Test:

Between	Max. Difference
Fornecedor K - Fornecedor L	0.08440000
Fornecedor L - Fornecedor F	0.41400000

Note:

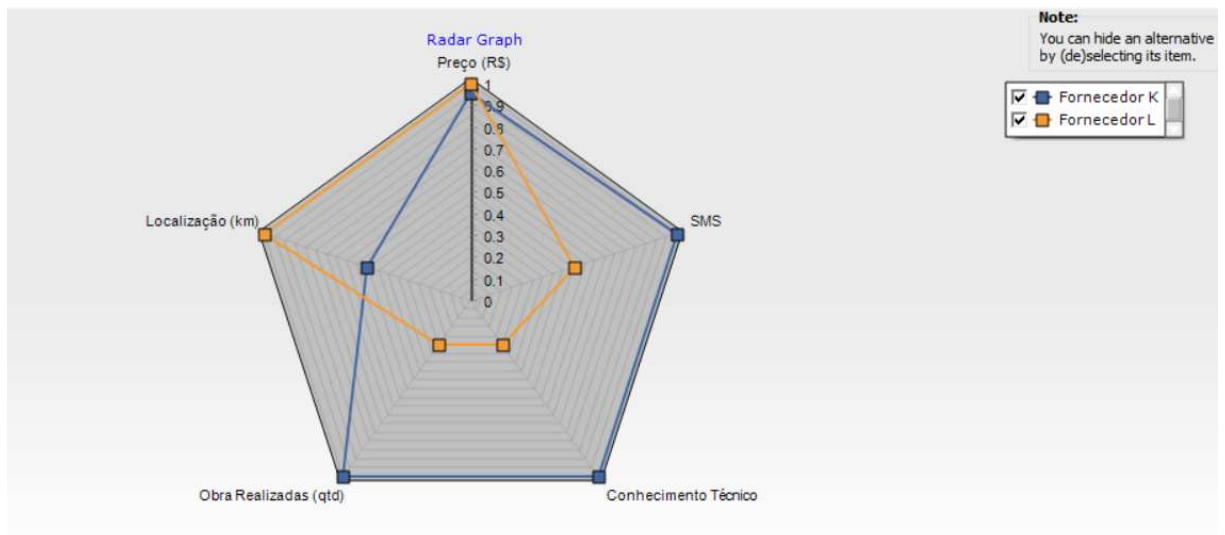
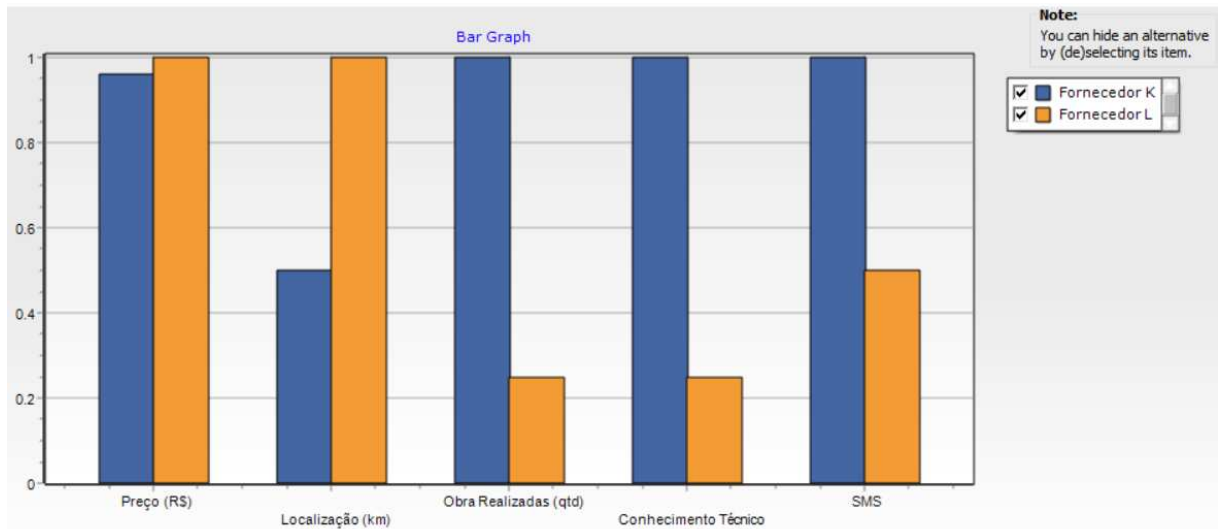
- Wi is the worst outcome of criterion Ci
- Xi is an outcome in between best and worst of criterion Ci
- Bi is the best outcome of criterion Ci

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 53, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores K e L.

Analisando a Figura 53, pode-se notar que o fornecedor K leva vantagem nos critérios obras realizadas, conhecimento técnico e SMS. Já o fornecedor L leva vantagem nos critérios preço e localização.

Figura 53 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 3



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 4, “Executar ensaio PIT”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do ensaio PIT, com nível crítico, é apresentado na Figura 54. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 2*).

Figura 54 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 4

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Criterion	Worst (W)	Best (B)
C1	W1: 1	B1: 5
C2	W2: 30	B2: 22
C3	W3: 0	B3: 6
C4	W4: 100	B4: 35
C5	W5: 1	B5: 4

Note:
 W_i is the worst outcome of criterion C_i
 X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
 B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

Chosen Order:
 C1 - Conhecimento Técnico
 C2 - Preço (R\$)
 C3 - Obra Realizadas (qtd)
 C4 - Localização (km)
 C5 - SMS

Equivalence Test:
 (Maximum difference between P. O. A.s)

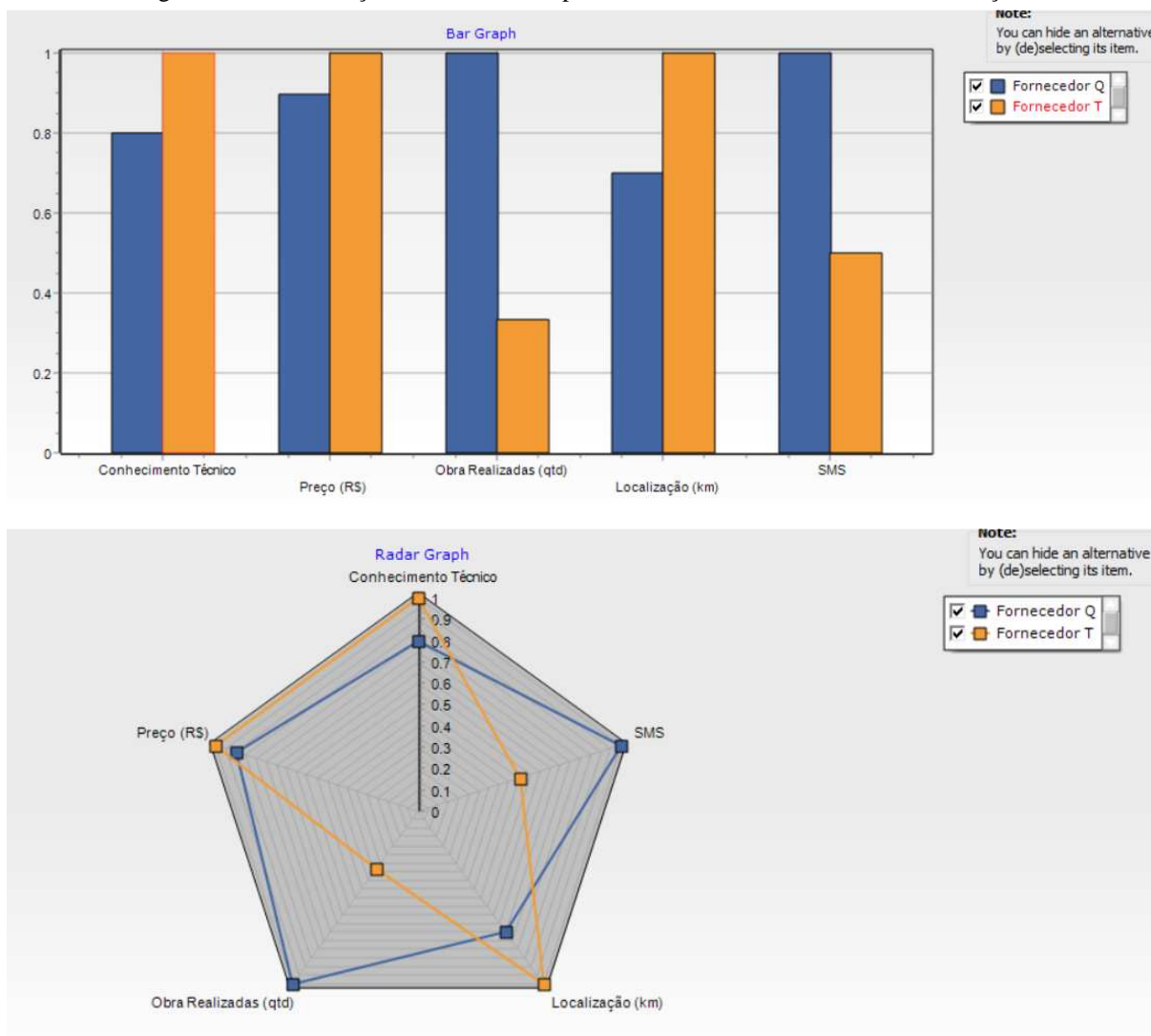
Between	Max. Difference
Fornecedor Q - Fornecedor	0,04830000
Fornecedor T - Fornecedor	0,27100000

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 55, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores Q e T.

Analisando a Figura 55, pode-se notar que o fornecedor Q leva vantagem nos critérios obras realizadas e SMS. Já o fornecedor T leva vantagem nos critérios conhecimento técnico, preço e localização.

Figura 55 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 4



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 5, “Executar concreto magro”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de concreto, com nível intermediário de criticidade, após a ordenação das preferências do decisor a solução ótima foi obtida conforme Figura 56.

Figura 56 – Solução ótima do Pacote de Serviço 5 no FITradeoff

	Maximum Value	Preço (R\$)	Localização (km)	Conhecimento Técnico	Obra Realizadas (qtd)	SMS	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Conhecimento Técnico)
Fornecedor W	1.0000	233	50	5	4	4	1.0000	0.0000	0.0000

Fonte: O Autor (2020).

A elicitación do Pacote de Serviço 6, “Executar armação da base”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de aço CA 50 mm, com nível intermediário de criticidade, é apresentado na Figura 57. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 1*).

Figura 57 – Elicitación quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 6

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Consequence A

Criterion	Worst (W)	Best (B)
C1	X1: 3.35	
C2	W2: 1	B2: 5
C3	W3: 310	B3: 100
C4	W4: 0	B4: 3
C5	W5: 1	B5: 4

Consequence B

Criterion	Worst (W)	Best (B)
C1	W1: 3.5	B1: 3.2
C2	W2: 1	B2: 5
C3	W3: 310	B3: 100
C4	W4: 0	B4: 3
C5	W5: 1	B5: 4

Note:
W is the worst outcome of criterion **C_i**
X is an outcome in between best and worst of criterion **C_i**
B is the best outcome of criterion **C_i**

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

Number of Questions Answered: 1
Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Chosen Order:
 C1 - Preço (R\$)
 C2 - Conhecimento Técnico
 C3 - Localização (km)
 C4 - Obra Realizadas (qtd)
 C5 - SMS

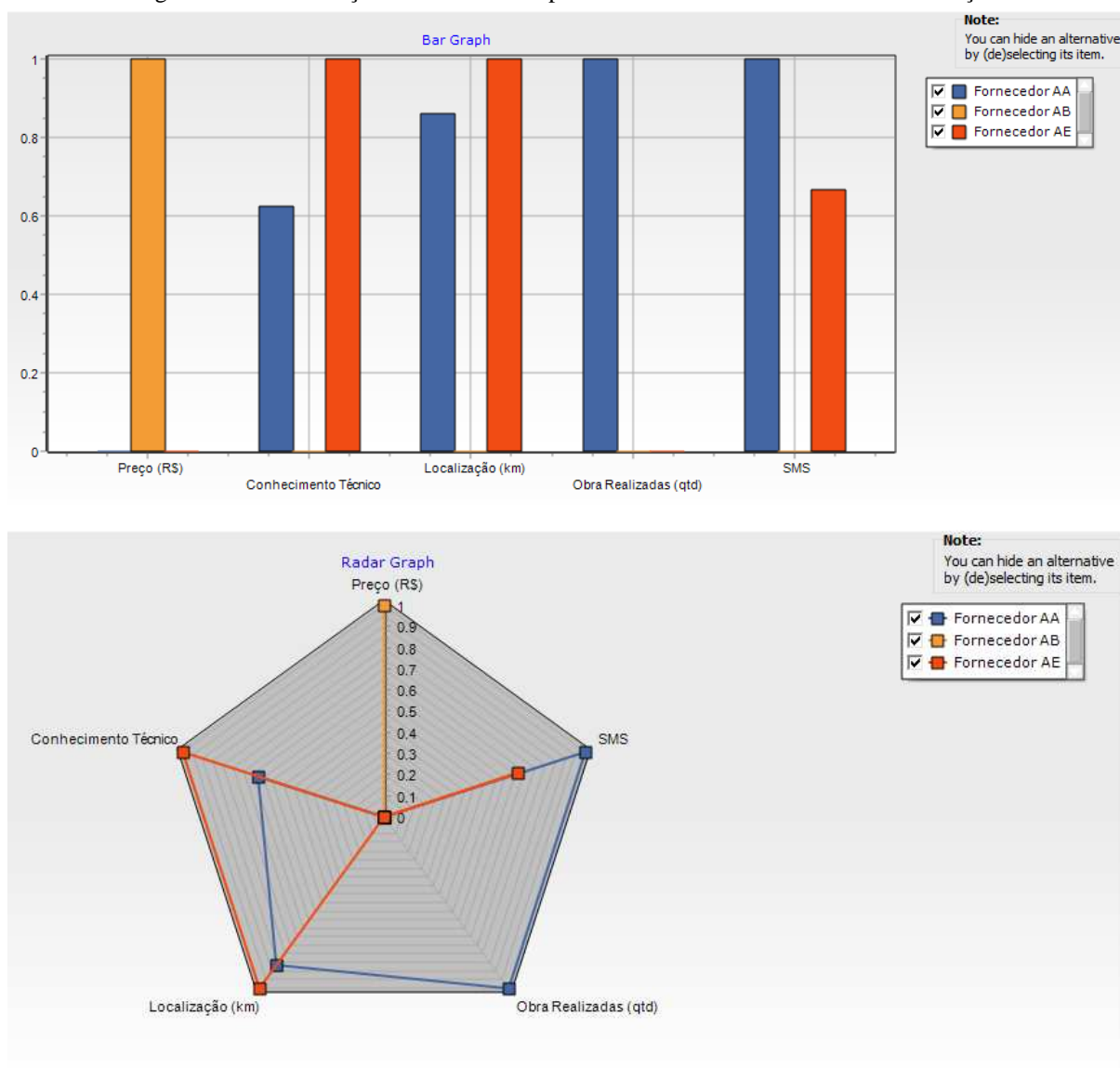
Equivalence Test:
 (Maximum difference between P. O. A.s)
 Between: Fornecedor AD - Fornecedor I, Max. Difference: 0,83300000
 Fornecedor AE - Fornecedor O,83300000

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 58, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores AA, AB e AE.

Analisando a Figura 58, pode-se notar que o fornecedor AA é o melhor nos critérios obras realizadas e SMS. Já o fornecedor AB leva vantagem no critério preço. O fornecedor AE leva vantagem nos critérios conhecimento técnico e localização.

Figura 58 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 6



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 7, “Colocar forma e dutos”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do eletroduto, classificado como não crítico, é apresentado na Figura 59. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 7*).

Figura 59 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 7

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Consequence A | **Consequence B**

Criterion	Worst Outcome (W)	Best Outcome (B)
C1	W1: 3	B1: 1.75
C2	W2: 1	B2: 5
C3	X3: 0.75	B3: 3
C4	W4: 200	B4: 83
C5	W5: 1	B5: 4

Note:
W_i is the worst outcome of criterion C_i
X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

Number of Questions Answered: 7
Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Chosen Order:
C1 - Preço (R\$)
C2 - Conhecimento Técnico
C3 - Obra Realizadas (std)
C4 - Localização (km)
C5 - SMS

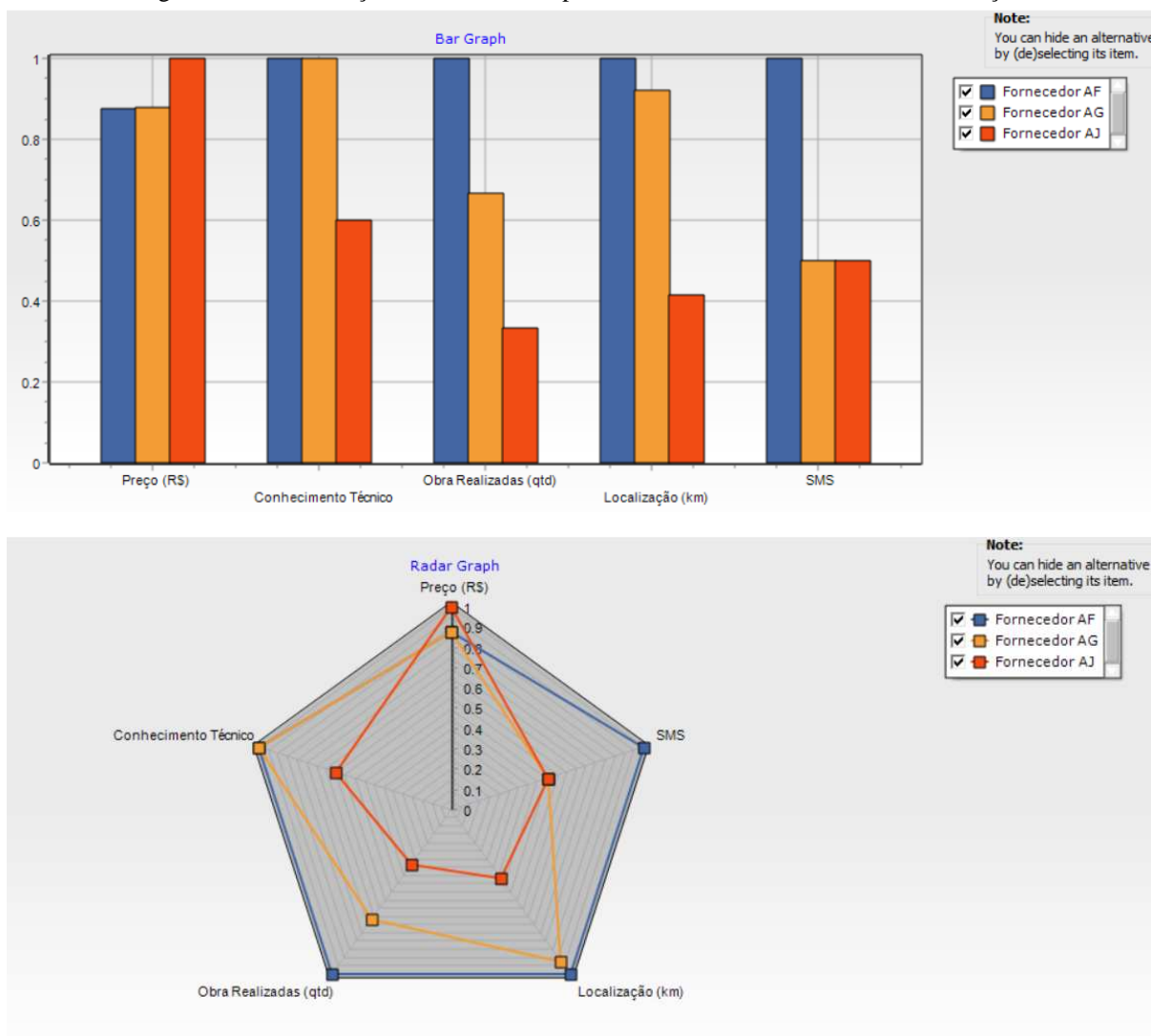
Equivalence Test:
(Maximum difference between P. O. A.s)
Between | Max. Difference
Fornecedor AF - Fornecedor 0.00230000
Fornecedor AJ - Fornecedor 0.20000000

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 60, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores AF, AG e AJ.

Analisando a Figura 60, pode-se notar que o fornecedor AF é o melhor nos critérios obras realizadas, localização e SMS. Já o fornecedor AG empata com o fornecedor AF no critério conhecimento técnico. O fornecedor AJ leva vantagem no critério preço.

Figura 60 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 7



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 8, “Concretar base”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor de cimento, classificado como não crítico, é apresentado na Figura 61. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 5*).

Figura 61 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 8

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Criterion	Consequence A	Consequence B
C1	X1: 117.25	B1: 109
C2	W2: 300	B2: 250
C3	W3: 2	B3: 4
C4	W4: 1	B4: 5
C5	W5: 1	B5: 4

Note:
 W_i is the worst outcome of criterion C_i
 X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
 B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

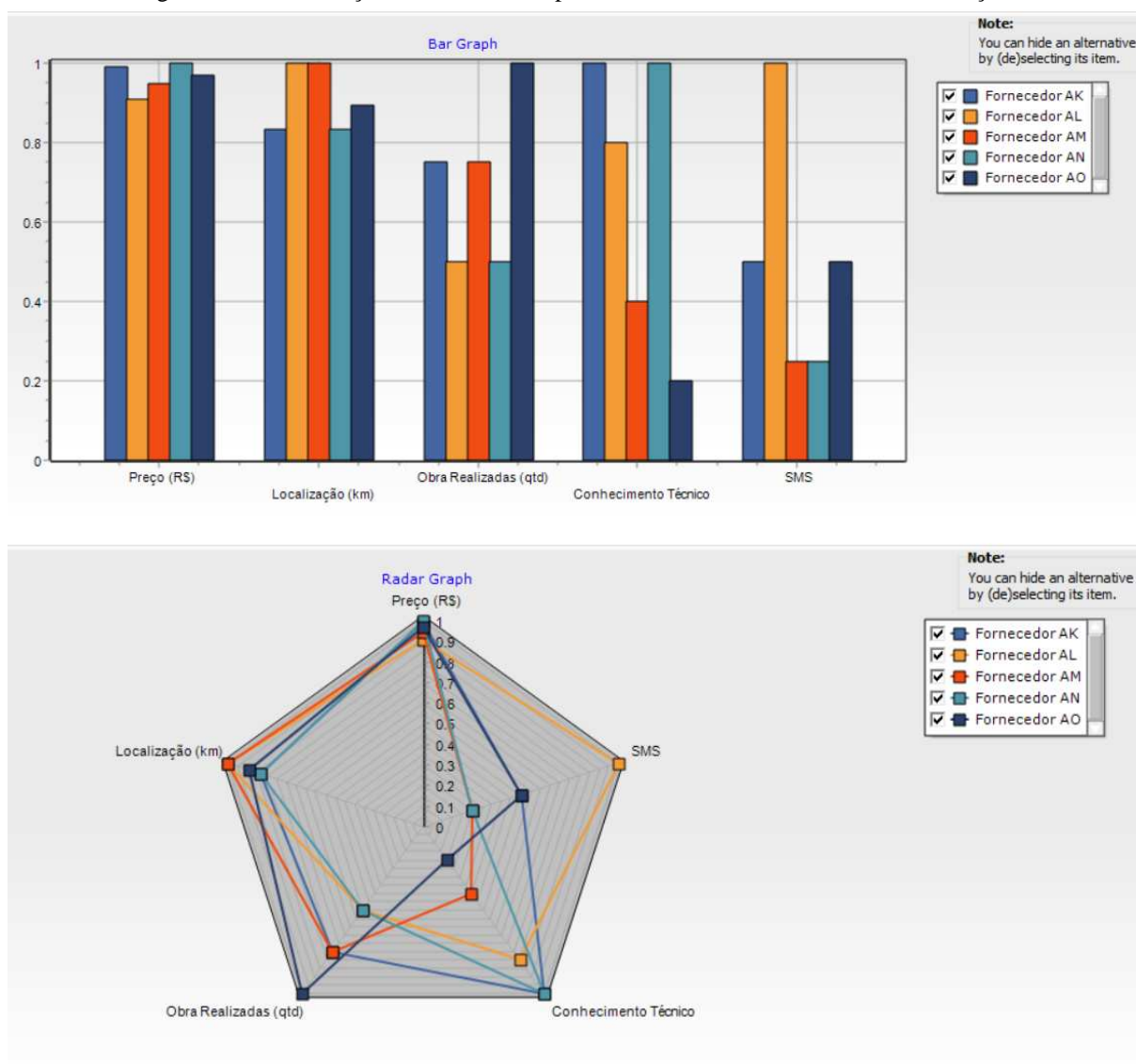
Chosen Order:
 C1 - Preço (R\$)
 C2 - Localização (km)
 C3 - Obra Realizadas (ttd)
 C4 - Conhecimento Técnico
 C5 - SMS

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 62, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores AK, AL, AM, AN e AO.

Onde na Figura 62, pode-se notar que o fornecedor AK é o melhor nos critérios preço e obras realizadas juntamente com o fornecedor AN. Os fornecedores AL e AM se destacam no critério localização. Para o critério SMS o fornecedor AL leva vantagem. Já o fornecedor AO tem o melhor desempenho no critério obras realizadas e o pior desempenho em conhecimento técnico.

Figura 62 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 8



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 9, “Executar aterramento externo”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor do material de aterramento, classificado como crítico, é apresentado na Figura 63. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer: 11*).

Figura 63 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 9

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Criterion	Consequence A (W, Xi, B)	Consequence B (W, Xi, B)
C1	W1: 22200, B1: 15000	W1: 22200, B1: 15000
C2	W2: 1500, B2: 1000	W2: 1500, B2: 1000
C3	X3: 1.5	W3: 1, B3: 5
C4	W4: 1, B4: 3	W4: 1, B4: 3
C5	W5: 1, B5: 4	W5: 1, B5: 4

Note:
W is the worst outcome of criterion C_i
X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

Number of Questions Answered: 11
Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Chosen Order:
 C1 - Preço (R\$)
 C2 - Localização (km)
 C3 - Conhecimento Técnico
 C4 - Obra Realizadas (qtd)
 C5 - SMS

Equivalence Test:
 (Maximum difference between P. O. A.s)

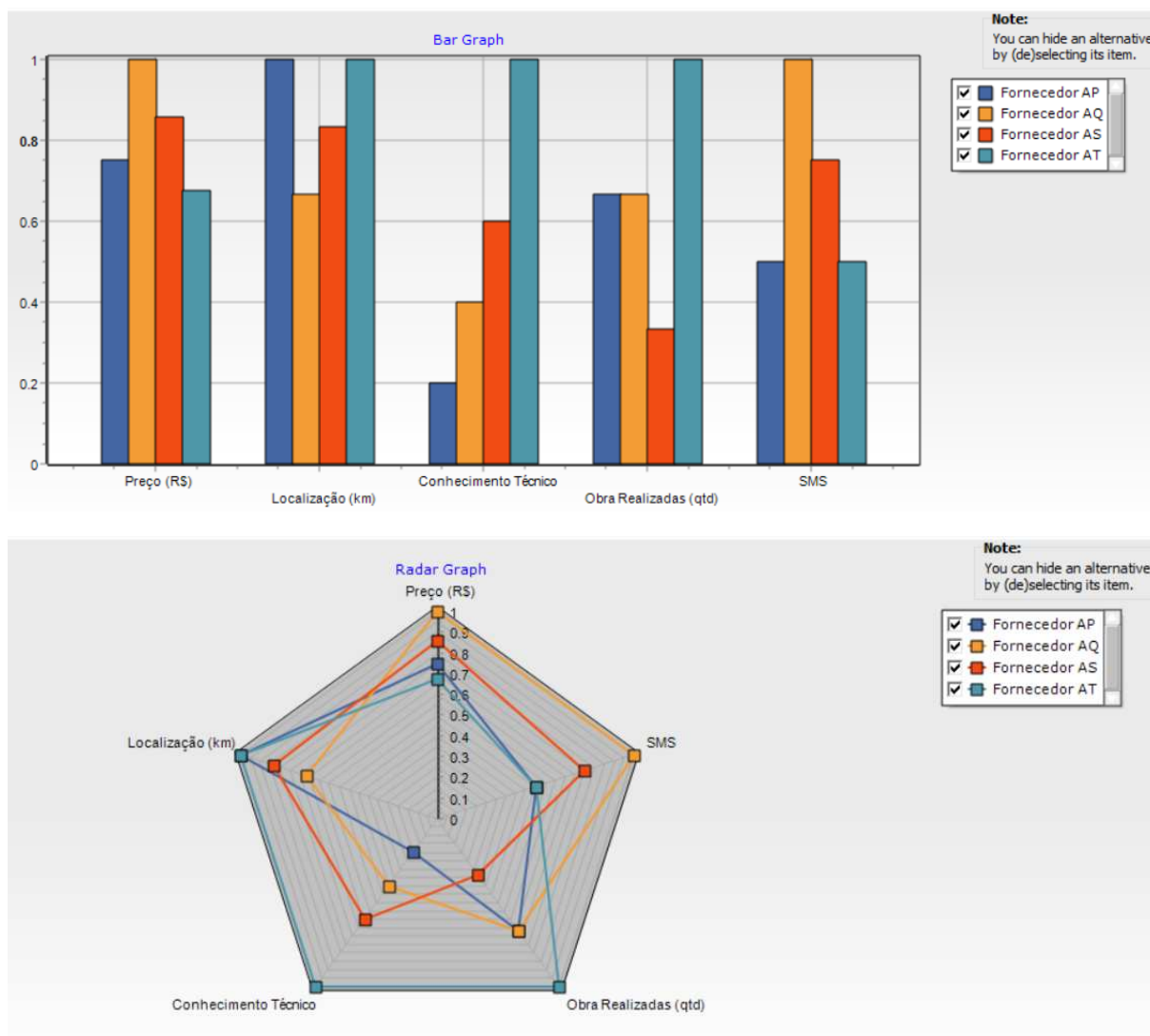
Between	Max. Difference
Fornecedor AP - Fornecedor	0,00274000
Fornecedor AS - Fornecedor	0,05090000

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 64, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores AP, AQ, AS e AT.

Onde na Figura 64, pode-se notar que o fornecedor AP é o melhor nos critérios preço e SMS. Os fornecedores AP e AT se destacam no critério localização. O fornecedor AT tem o melhor desempenho nos critérios conhecimento técnico e obras realizadas.

Figura 64 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 9



Fonte: O Autor (2020).

A elicitação do Pacote de Serviço 10, “Executar reaterro”, que tem como objetivo selecionar o fornecedor da motoniveladora, classificado como crítico, é apresentado na Figura 65. Na captura de tela, pode ser observado o número de questionamentos realizados (*Number of Questions Answerer*: 4).

Figura 65 – Elicitação quanto às preferências do decisor referente ao Pacote de Serviço 10

Presentation Input Flexible Elicitation

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Consequence A

C1	W1: 80	B1: 55
C2	W2: 90	B2: 82
C3	W3: 1	B3: 5
C4	X4: 1.5	
C5	W5: 1	B5: 4

Consequence B

C1	W1: 80	B1: 55
C2	W2: 90	B2: 82
C3	W3: 1	B3: 5
C4	W4: 0	B4: 3
C5		B5: 4

WORST BEST WORST BEST

Note:
W_i is the worst outcome of criterion C_i
X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

OK

Number of Questions Answered: 4
 Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Show Current Results

Stop Elicitation

Chosen Order:
 C1 - Localização (km)
 C2 - Preço (R\$)
 C3 - Conhecimento Técnico
 C4 - Obra Realizadas (atd)
 C5 - SMS

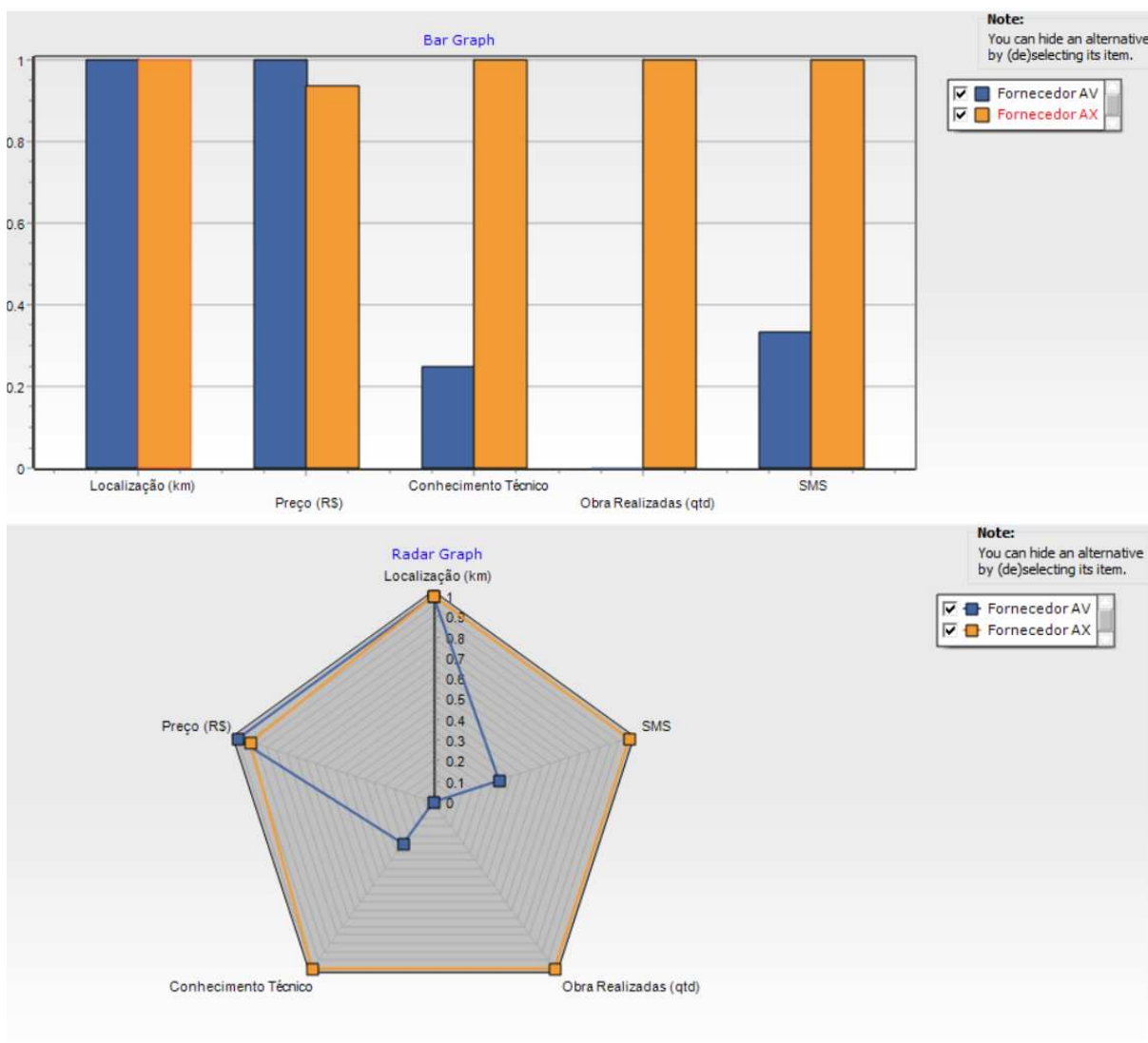
Equivalence Test:
 (Maximum difference between P. O. A.s)
 Between Max. Difference
 Fornecedor AV - Fornecedor 0.34400000
 Fornecedor AX - Fornecedor 0.00694000

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 66, são apresentadas as alternativas potencialmente ótimas dos fornecedores. Podendo ser a solução ótima os fornecedores AV e AX.

Analisando a Figura 66, pode-se notar que o fornecedor AV leva vantagem no critério preço. Já o fornecedor AX leva vantagem nos critérios conhecimento técnico, obras realizadas e SMS. E ambos empatam no critério localização.

Figura 66 – Visualização das alternativas potencialmente ótimas do Pacote de Serviço 10



Fonte: O Autor (2020).

- Fase 5.3 Análise dos resultados

Como definido no item 2.3.4, “Método FITradeoff”, a função valor global para uma alternativa é estabelecida conforme a Equação (2.3).

Para esta representação K_j é definida como a constante de escala para o critério j e o somatório dos valores de todas as constantes de escala deverá ser igual ao valor unitário.

Resolvendo as programações lineares (PLL) conforme as equações (2.3) e (3.2), obtém-se o espaço de valores que K_j pode assumir.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n k_i v_i(a_{ij}), j=1, \dots, m \quad (3.2)$$

Sendo assim, o espaço de possíveis valores para as constantes de escala K_j pode assumir estão apresentadas nas tabelas 30 até 39, para todos os pacotes de serviço.

Tabela 30 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 1

Classificação do pacote de serviço	Pacote 1	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Obras realiza das (quant.))	K(Conhecimento técnico)	K(SMS)
Intermediário	<i>Maximum Limit</i>	1	0,3333333	0,1428571	0,125	0,1111
	<i>Minimum Limit</i>	0,44444	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 31 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 2

Classificação do pacote de serviço	Pacote 2	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Conhecimento técnico)	K(Obras realizadas (quant.))	K(SMS)
Crítico	<i>Maximum Limit</i>	0,6666666	0,5	0,2	0,1666666	0,142857
	<i>Minimum Limit</i>	0,2857142	0,2222222	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 32 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 3

Classificação do pacote de serviço	Pacote 3	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Obras realizadas (quant.))	K(Conhecimento técnico)	K(SMS)
Crítico	<i>Maximum Limit</i>	0,666666	0,5	0,2	0,090909091	0,83333
	<i>Minimum Limit</i>	0,333333	0,25	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 33 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 4

Classificação do pacote de serviço	Pacote 4	K(Conhecimento técnico)	K(Preço (R\$))	K(Obras realizadas (quant.))	K(Localização (km))	K(SMS)
Crítico	<i>Maximum Limit</i>	1	0,3333333	0,14285714	0,125	0,111111
	<i>Minimum Limit</i>	0,4444444	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 34 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 5

Classificação do pacote de serviço	Pacote 5	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Conhecimento técnico)	K(Obras realizadas (quant.))	K(SMS)
Intermediário	<i>Maximum Limit</i>	1	0,5	0,33333333	0,25	0,2
	<i>Minimum Limit</i>	0,2	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 35 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 6

Classificação do pacote de serviço	Pacote 6	K(Preço (R\$))	K(Conhecimento técnico)	K(Localização (km))	K(Obras realizadas (quant.))	K(SMS)
Intermediário	<i>Maximum Limit</i>	1	0,33333333	0,25	0,2	0,16666666
	<i>Minimum Limit</i>	0,333333	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 36 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 7

Classificação do pacote de serviço	Pacote 7	K(Preço (R\$))	K(Conhecimento técnico)	K(Obras realizadas (quant.))	K(Localização (km))	K(SMS)
Não Crítico	<i>Maximum Limit</i>	1	0,2	0,047619048	0,0117647	0,00584
	<i>Minimum Limit</i>	0,748538	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 37 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 8

Classificação do pacote de serviço	Pacote 8	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Obras realizadas (quant.))	K(Conhecimento técnico)	K(SMS)
Não Crítico	<i>Maximum Limit</i>	1	0,2	0,047619048	0,011764706	0,005848
	<i>Minimum Limit</i>	0,7485380	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 38 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 9

Classificação do pacote de serviço	Pacote 9	K(Preço (R\$))	K(Localização (km))	K(Conhecimento técnico)	K(Obras realizadas (quant.))	K(SMS)
Crítico	<i>Maximum Limit</i>	0,5039370	0,47058823	0,111111111	0,0136986	0,003413
	<i>Minimum Limit</i>	0,4368600	0,4111977	0,054647475	0	0

Fonte: O Autor (2020).

Tabela 39 – Espaço de possíveis valores para as constantes de escala para o Pacote de Serviço 10

Classificação do pacote de serviço	Pacote 10	K(Localização (km))	K(Preço (R\$))	K(Conhecimento técnico)	K(Obras realizadas (quant.))	K(SMS)
Crítico	<i>Maximum Limit</i>	0,6666666	0,5	0,2	0,0909090909	0,0434783
	<i>Minimum Limit</i>	0,34782608	0,2580645	0	0	0

Fonte: O Autor (2020).

3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Realizando uma análise estatística no espaço das constantes de escala (K_{Cj}) em cada um dos critérios dos pacotes críticos, obtém-se os valores máximos e mínimos para função objetivo, conforme equações (3.3) e (3.4).

$$\text{Valor Máximo } \left[\text{Max}(K_{Cj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V\text{Max}(K_{Cj}) \quad (3.3)$$

$$\text{Valor Mínimo } \left[\text{Min}(K_{Cj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V\text{Min}(K_{Cj}) \quad (3.4)$$

Assim como o valor médio, conforme Equação (3.5).

$$\text{Valor Médio } (K_{Cj}) = \frac{\text{Valor Max}(K_{Cj}) + \text{Valor Min}(K_{Cj})}{2} = Vm(K_{mCj}) \quad (3.5)$$

A mesma estatística é determinada para a função objetiva de minimização, conforme equações (3.6) e (3.7).

$$\text{Valor Máximo } \left[\text{Min}(K_{Cj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V\text{Max}(K'_{Cj}) \quad (3.6)$$

$$\text{Valor M\u00ednimo } \left[\text{Min}(K_{Cj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = \text{VMin}(K'_{Cj}) \quad (3.7)$$

Assim como o valor m\u00e9dio, conforme Equa\u00e7\u00e3o (3.8).

$$\text{Valor M\u00e9dio } (K_{Cj}) = \frac{\text{Valor Max}(K'_{Cj}) + \text{Valor Min}(K'_{Cj})}{2} = \text{Vm}(K'_{mCj}) \quad (3.8)$$

No processo de elicita\u00e7\u00e3o realizado nos pacotes de servi\u00e7os cr\u00edticos, as constantes de escala (K_{mCj}) referente aos atributos do problema apresentaram um comportamento de maneira que o atributo pre\u00e7o tem o maior grau de relev\u00e2ncia de consequ\u00eancia no julgamento do decisor no processo de tomada de decis\u00e3o, conforme mostra a Equa\u00e7\u00e3o (3.9).

$$K_{mC(\text{Pre\u00e7o})} > K_{mC(\text{Localiza\u00e7\u00e3o})} > K_{mC(\text{Conhecimento t\u00e9cnico})} > K_{mC(\text{Obras realizadas})} > K_{mC(\text{SMS})} \quad (3.9)$$

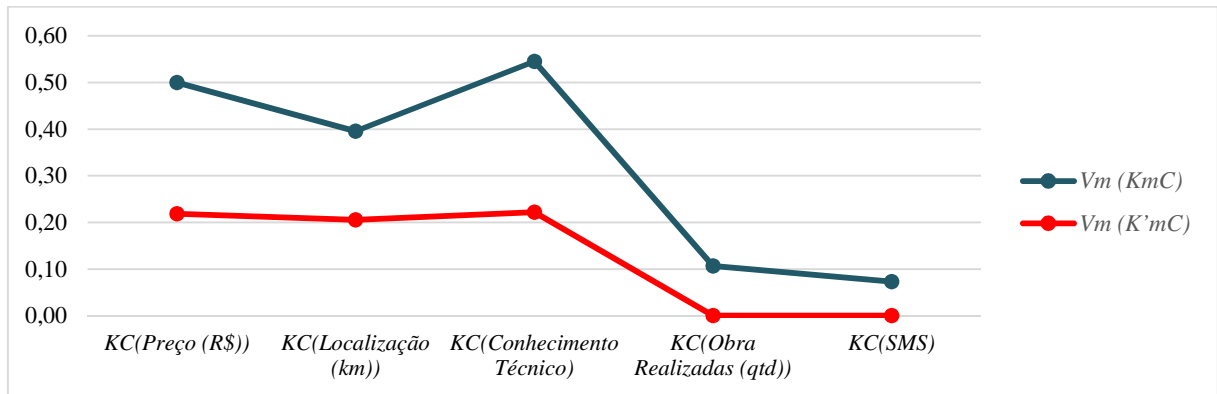
Na Tabela 40 e na Figura 67, obt\u00eam-se os valores da localiza\u00e7\u00e3o, conhecimento t\u00e9cnico, obras realizadas e SMS.

Tabela 40 – Valores estat\u00edsticos das constantes de escala para os pacotes cr\u00edticos

Cr\u00edtico	K _C (Pre\u00e7o (R\$))	K _C (Localiza\u00e7\u00e3o (km))	K _C (Obras realizadas (quant.))	K _C (Conhecimento t\u00e9cnico)	K _C (SMS)
VMax (K _C)	0,667	0,667	0,200	1,000	0,143
VMin (K _C)	0,333	0,125	0,014	0,091	0,003
Vm (K_{mC})	0,500	0,396	0,107	0,545	0,073
VMax (K' _C)	0,437	0,411	0,000	0,444	0,000
VMin (K' _C)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Vm (K'_{mC})	0,218	0,206	0,000	0,222	0,000

Fonte: O Autor (2020).

Figura 67 – Gráfico das constantes de escala para os pacotes críticos



Fonte: O Autor (2020).

Realizando a mesma análise estatística no espaço das constantes de escala (K_{NCj}) em cada um dos critérios dos pacotes não críticos, obtém-se os valores máximos e mínimos para função objetivo, conforme equações (3.10) e (3.11).

$$\text{Valor Máximo } \left[\text{Max}(K_{NCj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V_{\text{Max}}(K_{NCj}) \quad (3.10)$$

$$\text{Valor Mínimo } \left[\text{Min}(K_{NCj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V_{\text{Min}}(K_{NCj}) \quad (3.11)$$

Assim como o valor médio, conforme Equação (3.12).

$$\text{Valor Médio } (K_{NCj}) = \frac{\text{Valor Max}(K_{NCj}) + \text{Valor Min}(K_{NCj})}{2} = V_m(K_{mNCj}) \quad (3.12)$$

A mesma estatística dos pacotes não críticos é realizada para a função objetiva de minimização, conforme equações (3.13) e (3.14).

$$\text{Valor Máximo } \left[\text{Min}(K_{NCj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V_{\text{Max}}(K'_{NCj}) \quad (3.13)$$

$$\text{Valor Mínimo } \left[\text{Max}(K_{NCj}) \sum_{i=1}^n k_i v_i (p_{ij}), j=1, \dots, m \right] = V_{\text{Min}}(K'_{NCj}) \quad (3.14)$$

Assim como o valor médio, conforme Equação (3.15).

$$\text{Valor Médio } (K_{NCj}) = \frac{\text{Valor Max}(K'_{NCj}) + \text{Valor Min}(K'_{NCj})}{2} = V_m(K'_{mNCj}) \quad (3.15)$$

No processo de elicitação realizados nos pacotes de serviços não críticos as constantes de escala (K_{mNC}) referente aos atributos nos pacotes de serviços não críticos apresentaram um comportamento tal qual o atributo preço é critério de maior relevância no julgamento do decisor no processo de tomada de decisão, conforme mostra a Equação (3.16).

$$K_{mNC(\text{Preço})} > K_{mNC(\text{Conhecimento técnico})} > K_{mNC(\text{Localização})} > K_{mNC(\text{Obras realizadas})} > K_{mNC(\text{SMS})} \quad (3.16)$$

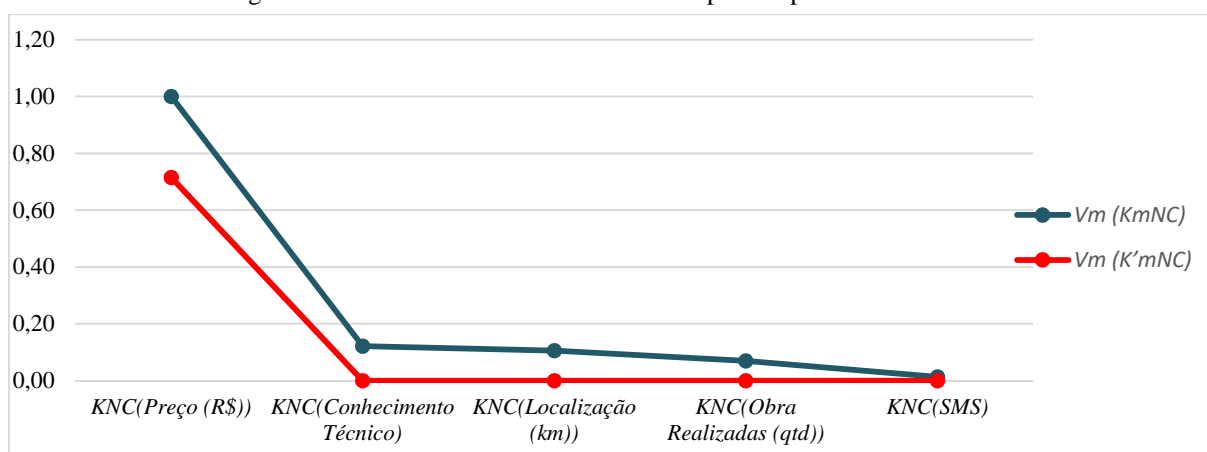
Na Tabela 41 e na Figura 68, obtêm-se os valores da localização, conhecimento técnico, obras realizadas e SMS.

Tabela 41 – Valores estatísticos das constantes de escala para os pacotes não críticos

Não Críticos	$K_{NC}(\text{Preço (R\$)})$	$K_{NC}(\text{Localização (km)})$	$K_{NC}(\text{Obras realizadas (quant.)})$	$K_{NC}(\text{Conhecimento técnico})$	$K_{NC}(\text{SMS})$
$VM_{\max}(K_{NC})$	1,000	0,200	0,091	0,200	0,021
$VM_{\min}(K_{NC})$	1,000	0,012	0,048	0,043	0,006
$Vm(K_{mNC})$	1,000	0,106	0,069	0,122	0,014
$VM_{\max}(K'_{NC})$	0,749	0,000	0,000	0,000	0,000
$VM_{\min}(K'_{NC})$	0,681	0,000	0,000	0,000	0,000
$Vm(K'_{mNC})$	0,715	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: O Autor (2020).

Figura 68 – Gráfico das constantes de escala para os pacotes não críticos



Fonte: O Autor (2020).

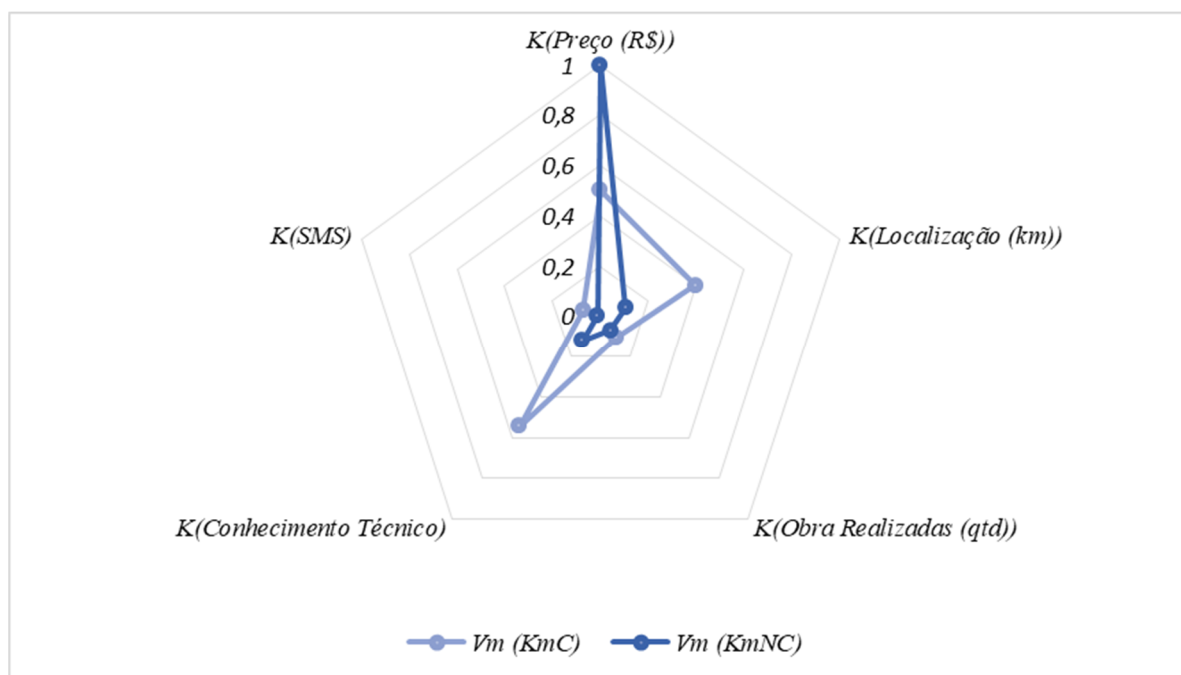
Assim, comparando os valores das constantes de escala entre os pacotes de serviços críticos (K_{mCj}) e os pacotes de serviços não críticos (K_{mNC}) observa-se as seguintes relação:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{mC} \text{ Preço} < K_{mNC} \text{ Preço} \\ K_{mC} \text{ Localização} > K_{mNC} \text{ Localização} \\ K_{mC} \text{ Obras realizadas} > K_{mNC} \text{ Obras realizadas} \\ K_{mC} \text{ Conhecimento técnico} > K_{mNC} \text{ Conhecimento técnico} \\ K_{mC} \text{ SMS} > K_{mNC} \text{ SMS} \end{array} \right.$$

Como resultado do estudo apresenta que existe variação entre as constantes de escala para os pacotes de serviços críticos e os não críticos. Pode-se constatar, de acordo com a elicitação com o decisor, que o atributo preço tem uma representatividade menor para os pacotes críticos, do que para o mesmo atributo nos pacotes de serviços não críticos.

Para localização, a representatividade da constante de escala é maior nos pacotes de serviço crítico. Para obras realizadas, o grau é menor nos pacotes de serviços não críticos. Para o atributo conhecimento técnico, a importância é maior para os pacotes críticos e para SMS, o valor é menor nos pacotes de serviços não críticos, como se pode verificar o espaço das constantes na Figura 69, a seguir.

Figura 69 – Espaço das constantes de escala



Fonte: O Autor (2020).

Sendo assim, essa variação no espaço das constantes de escalas para um mesmo atributo entre as atividades críticas e não críticas impactam positivamente na aplicação do modelo proposto, pois permite ao decisor ter fundamentos na escolha do fornecedor adequado, de modo a sua decisão não impactar no cronograma da obra.

A aplicação do modelo, nas diferentes etapas de construção da base de sustentação dos aerogeradores de um parque eólico, gerou, na organização, um ganho econômico na ordem de 8,58% nas negociações com os fornecedores, pois o decisor passou a considerar os fatores de criticidade em cada pacote de serviço, onde as atividades não críticas representam 33,39% do custo da base, em que o atributo preço pode ser negociado. Outro ganho para a organização diz respeito à eliminação de multas contratuais por atraso no cronograma da obra, causado pelo descumprimento de obrigações de seus fornecedores. Além dos ganhos mencionados, a organização pode eliminar os gargalos dos processos produtivos, gerando um ganho de produtividade e redução de custos diretos e indiretos.

Para o decisor, o modelo proposto atendeu as necessidades na seleção dos fornecedores de modo a estruturar o setor de suprimentos com as ferramentas empregadas e cooperação com o setor de planejamento da organização.

Como limitações do modelo, pode-se constatar que foi empregado apenas nos serviços de bases dos aerogeradores podendo o mesmo ser aplicado nos serviços de construções dos acessos, abrangendo toda a cadeia produtiva da construção civil do parque eólico.

4 CONCLUSÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o modelo de seleção de fornecedores aplicado à gestão de projetos na construção de parques eólicos que se caracterizam pelo curto espaço de tempo para execução, com cláusulas contratuais severas.

O decisor neste problema foi o coordenador de suporte operacional, pois era este o responsável por tal decisão, podendo, assim, explicitar as preferências e as necessidades da empresa. Reuniões iniciais aconteceram com a presença dos especialistas, que auxiliaram no estabelecimento dos principais elementos envolvidos no contexto. Este tipo de abordagem promove e facilita a compreensão do problema, viabilizando a percepção dos diversos aspectos, enquanto guia o processo de busca das informações relevantes.

Para a construção da LOB, foi escolhida a ferramenta do Microsoft Project, por se mostrar adequada para a elaboração de cronogramas, contando também com a participação do especialista. Nesta etapa do modelo houve redução no prazo total da obra de 41 dias que foi considerado *buffer* do projeto.

Com o objetivo de fundamentar as durações das atividades no cronograma, os processos de construção das bases foram simulados no *software* Arena[®], que teve como dados de entrada as distribuições do prazo de execução. Foram obtidos como saída as taxas de utilização de cada equipe envolvida no pacote de serviço e o tempo de execução de cada pacote de serviço.

Já para análise dos pacotes críticos do cronograma, utilizou-se a simulação de Monte Carlo no *software* @RISK, versão estudantil, onde a participação do especialista teve papel fundamental na aplicação do modelo. Como saída dessa etapa, obteve-se a classificação de criticidade de cada pacote de serviço de acordo com seu prazo no cronograma. Criticidade esta que será informada ao decisor como *input* de entrada no passo subsequente, que é a elicitação de preferências.

Ponto positivo apresentado pelo método utilizado foi a possibilidade de visualização parcial dos resultados, benefício reconhecido pelo decisor, que conseguiu analisar durante o processo o desempenho das alternativas por meio de gráficos. É válido ainda ressaltar que as iterações entre decisor e especialistas foram essenciais para melhor entendimento do problema e para intercâmbio de informações, levando a um aprofundamento do contexto explorado.

Constata-se pelo modelo o fato de que existe variação por parte do decisor aos atributos dos pacotes de serviços, sejam estes críticos e não críticos. Com isso, esse processo permite ao decisor selecionar adequadamente os principais fornecedores, de modo a atingir o objetivo final do projeto, que é o de entregar a obra no prazo estabelecido no contrato.

O modelo proposto possibilita a realização futura da análise de sensibilidade, onde as atividades que foram calculadas como críticas podem ter seus processos otimizados, deixando de ser atividades críticas.

Nesse sentido, via de regra, a construção do modelo proposto foi satisfatória e atendeu às expectativas, possibilitando estruturar racionalmente a seleção dos fornecedores conforme a criticidade das atividades contidas no cronograma da obra. Como impacto econômico, o modelo gerou um ganho financeiro em média de 8,58% nas negociações com os fornecedores dos pacotes de serviços não críticos.

Esse estudo, portanto, se mostrou relevante por abordar um tema recente, que impacta a sociedade atual e com pouca literatura especializada. Lembrando, no entanto, que se deve levar em consideração o caráter limitado deste estudo por abordar o ciclo de construção civil das bases dos aerogeradores que compõem o projeto eólico.

O presente modelo atingiu a importância do impacto ambiental em contribuir com a organização, que faz parte da cadeia produtiva do segmento eólico, auxiliando na construção de uma matriz energética limpa.

4.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestão a futuros trabalhos tem-se um campo vasto no setor de energias renováveis, ramo que está em franca ascensão, sendo um ótimo laboratório para a academia apresentar soluções coerentes para os problemas inerentes ao setor, tanto em parques eólicos como em parques de energia solar, fazendo com que as melhorias ocorram no planejamento, gestão e processos da construção civil para os próximos anos.

Espera-se que o modelo possa ser aplicado de forma macro pelas empresas proprietárias das usinas eólicas na seleção de seus principais fornecedores (construção civil, montagem eletromecânica, construção da rede de média tensão e fabricantes dos aerogeradores), agregando ainda mais visibilidade da metodologia no segmento eólico.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L. **Planejamento empresarial**. Tradução de Marco Túlio de Freitas. Rio de Janeiro: LTC, 1970.
- AGRAMA, F. A. Multi-objective genetic optimization for scheduling a multi-storey building. **Automation in Construction**, Oxford, UK, v. 44, p. 119-128, 2014.
- AL SARRAJ, Z. M. Formal development of line-of-balance technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 116, n. 4, p. 689-704, 1990.
- AL-AOMAR, R. Product-Mix Analysis with Discrete Event Simulation. In Proceedings, pp, 1385-1392. **Winter Simulation Conference**, 2000.
- ALENCAR, L. H.; ALMEIDA, A. T. Multicriteria decision group model for the selection of suppliers. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 321-337, 2008.
- ALMEIDA, A. T. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio à decisão**. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2011.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações**: construindo modelos de decisão multicritério. São Paulo: Atlas, 2013.
- ALTUGER, G.; CHASSAPIS, C. Multi Criteria Preventive Maintenance Scheduling Through Arena Based Simulation Modeling, IEEE, p. 2123-2134, **Winter Simulation Conference**, 2009.
- AMMAR, M. A. LOB and CPM integrated method for scheduling repetitive projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 139, n. 1, p. 44-50, 2013.
- AMMAR, M. A.; ABDEL-MAGED, A. F. Modeling of LOB scheduling with learning development effect. **International Journal of Construction Management**, London, v. 18, n. 6, p. 517-526, 2018.
- ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. Programação linear multiobjetivo – métodos interativos e software. In: CONGRESO LATINO-IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 16., 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBPO, 2012. p. 4725-4736.
- ARAUJO, M. C. B. ; ALENCAR, L. H. ; REIS, A.C. ; MOTA, C. M. M. Modelo multicritério para a seleção de contratados em projetos de construção civil. **XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Recife. Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2015.
- ARDITI, D.; ALBULAK, M. Z. Line-of-balance scheduling in pavement construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 112, n. 3, p. 411-424, 1986.
- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Effect of learning on line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management**, London, v. 19, n. 5, p. 265-277, 2001.

ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH. Challenges in line-of-balance scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 128, n. 6, p. 545-556, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Boletim Mensal de Geração Eólica 2020**. São Paulo: ABEEólica, 2020.

AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S.; GOYAL, S. K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. **International Journal of Production Economics**, London, v. 126, n. 2, p. 370-378, 2010.

BORAN, F. E. *et al.* A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 36, n. 8, p. 11363-11368, 2009.

BOTTANI, E.; RIZZI, A. An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection - An application oriented to lead-time reduction. **International Journal of Production Economics**, v. 111, p. 763-781, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, DF: Aneel, 2008.

CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões racionais em situações de incerteza**. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2007.

CHAN, A. e CHAN, D. Developing a benchmark model for project construction time performance in Hong Kong, **Building and Environment**, v. 39, p. 339-349, 2004.

CHAN, F. T. S.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. **Omega**, v. 35, p. 417-431, 2007.

CHEN, C.-T.; LIN, C.-T.; HUANG, S.-F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, London, v. 102, n. 2, p. 289-301, 2006.

CORRÊA, H. L. **Administração de cadeias de suprimento e logística: o essencial**. São Paulo: Atlas, 2014.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

DAHER, S. F. D.; ALMEIDA, A. T. Recent patents using group decision support systems: a short review. **Recent Patents on Computer Science**, Potomac, MD, v. 3, n. 2, p. 81-90, 2010.

DAMCI, A.; ARDITI, D.; POLAT, G. Impacts of different objective functions on resource leveling in Line-of-Balance scheduling. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Korea, v. 20, p. 58-67, 2016.

DAMCI, A.; ARDITI, D.; POLAT, G. Resource leveling in Line-of-Balance scheduling. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, Columbus, OH, v. 28, n. 9, p. 679-692, 2013.

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**, London, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

DE BOER, L.; LABRO, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, London, v. 7, n. 2, p. 75-89, 2001.

DE BOER, L.; PIERANGELA, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, London, v. 7, n. 2, p. 75-89, 2001.

DEGRAEVE, Z.; ROODHOOFT, F. Effectively selecting suppliers using total cost of ownership. **Journal of Supply Chain Management**, London, v. 35, n. 1, p. 5-10, 1999.

DEKKER, R.; BLOEMHOF, J.; MALLIDIS, I. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. **European Journal of Operational Research**, 219 (3) p. 671- 679, 2012.

DICKSON, G. W. An analysis of vendor selection systems and decisions. **Journal of Purchasing**, v. 2, p. 5-17, 1966.

DOLABI, H. R. Z.; AFSHAR, A.; ABBASNIA, R. CPM/LOB scheduling method for project deadline constraint satisfaction. **Automation in Construction**, Oxford, UK, v. 48, p. 107-118, 2014.

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 13, n. 25-26, p. 5-15, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2020**. Rio de Janeiro. EPE, 2020.

FAN, S.; TSERNG, H. Object-oriented scheduling for repetitive projects with soft logics. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 132, n. 1, 35-48, 2006.

FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P. ; 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**, v. 2017, p. 1-9, 2017.

FREJ, E.A.; de ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation, **Operational Research**, v. 19, p. 1-23, 2019.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report Market Update 2020**. Bruxelas: GWEC, 2020.

GOUDA, A.; HOSNY, O.; NASSAR, K. Optimal crew routing for linear repetitive projects using graph theory. **Automation in Construction**, Oxford, UK, v. 48, p. 107-118, 2014.

GUNDUZ, M.; NASER, A. F. Cost based value stream mapping as a sustainable construction tool for underground pipeline construction projects. **Sustainability**, Basel, CHE, v. 9, n. 12, p. 1-20, 2017.

HA, S. H.; KRISHNAN, R. A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 34, n. 2, p. 1303-1311, 2008.

HE, M. *et al.* Field experimental study on the retrofit of cracked onshore wind turbine foundations using externally prestressed anchor bolts. **Structural Concrete**, Belgium, v. 19, n. 3, p. 864-875, 2018.

HEGAZY, T. **Computer-based construction project management**. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

HERBERT, J.E. **Applications of simulation in project management**. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1979. **Proceedings...** Maryland, p.211-219, 1979.

HESHMAT, M; EL-SHARIEF, M.A; EL-SEBAIE, M. G. Simulation modeling of production lines: a case study of cement production line. **Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Faculty of Engineering**, v. 41, n. 3, p. 1045-1053, 2013.

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010.

JAAFARI, A. Criticism of CPM for project planning analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 110, n. 2, p. 222-233, 1984.

JOHNSTON, D. W. Linear scheduling method for highway construction. **Journal of the Construction Division**, New York, v. 107, n. 2, p. 247-261, 1981.

KANG, T. H. A.; FREJ, E. A.; de ALMEIDA, A. T. Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. **Asia Pacific Journal of Operational Research**. p. 1-27, 2020 (in press)

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision making with multiple objectives, preferences, and value tradeoffs**. New York: Wiley, 1976.

LEE, S. H.; PEÑA-MORA, F. System dynamics approach for error and change management in concurrent design and construction. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Orlando, FL. **Proceedings [...]**. Orlando, FL: IEEE, 2005. p. 1508-1514, 2005.

LEE, S.; MORA, F.; PARK, M. Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. **Automation in Construction**, v. 15, p. 84-97, 2006.

LÉGER, J.; MARTEL, J.-M. A multicriteria assignment procedure for a nominal sorting problematic. **European Journal of Operational Research**, London, v. 138, n. 2, p. 349-364, 2002.

- LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.
- LUMSDEN, P. **The line-of-balance method**. London: Pergamon Press Limited, 1968.
- MILITITSKY, J. **Fundações de torres: aerogeradores, linhas de transmissão e telecomunicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- NASCIMENTO, F. A. M.; ALENCAR, L. H. Análise da aplicação da técnica de linha de balanço - LOB - Na construção de parques eólicos. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 26., 2019, Baurú. **Anais [...]**. Baurú: SIMPEP, 2019.
- NAVMAT. **Line-of-balance technique**. Washington, DC: Naval Material Command, 1962.
- OLIVEIRA, P. E. A.; SCHRAMM, F.; SCHRAMM, V. B. Abordagem de gerenciamento do cronograma para auxiliar na redução de incertezas em projetos da construção civil. **LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**. Limeira-SP, Anais do LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2019.
- PINTO, M. O. **Fundamentos da energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- PIZZOLATO, M. Uso de planilhas eletrônicas para implementação do método de Monte Carlo para estimativa da incerteza de medição. *In: ENCONTRO PARA A QUALIDADE DE LABORATÓRIOS*, 9., 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Rede Metrológica do Estado de São Paulo, 2005.
- PRESSEY, A. D.; WINKLHOFER, H. M.; TZOKAS, N. X. Purchasing practices in small-to medium sized enterprises: an examination of strategic purchasing adoption, supplier evaluation and supplier capabilities. **Journal of Purchasing & Supply Management**, London, v. 15, n. 4, p. 214-226, 2009.
- REDA, R. M. RPM: Repetitive Project Modeling. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 116, n. 2, p. 316-330, 1990.
- ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- RUSSEL, A. D.; WONG, W. C. M. New generation of planning structures. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 119, n. 2, p. 196-214, 1993.
- RUWANPURA, J. Y.; ABOURIZK, S. M. Design, development and application of soil transition algorithms for tunneling using special purpose simulation. **Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference**. p. 1512-1520, Virginia, 2001.
- RUWANPURA, J. Y.; ABOURIZK, S. M.; ALLOUCHE, M. Analytical methods to reduce uncertainty in tunnel construction projects. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 31, p. 345-360, NRC Canada, 2004.
- RUWANPURA, J.; ARIARATNAM, S. Simulation modeling techniques for underground infrastructure construction processes. **Tunneling and Underground Space Technology**, v. 22, p. 553-67, 2007.

- SAMANEZ, C. P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2009.
- SAWIK, T. Selection of supply portfolio under disruption risks. **Omega**, 39 (2) p. 194-208, 2011.
- SAWIK, T. Single vs. multiple objective supplier selection in a make to order environment, **Omega**, 38 (3) p. 203-212, 2010.
- SELINGER, S. Construction planning for linear projects. **Journal of the Construction Division**, New York, v. 106, n. 2, p. 195-205, 1980.
- SENOUCI, A.; AL-DERHAM, H. R. Genetic algorithm-based multi-objective model for scheduling of linear construction projects. **Advances in Engineering Software**, London, v. 39, n. 12, p. 1023-1028, 2008.
- SLACK, N. **Administração da produção**. Tradução de Maria Tereza Correa de Oliveira. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SU, Y.; LUCKO, G. Linear scheduling with multiple crews based on line-of-balance and productivity scheduling method with singularity functions. **Automation in Construction**, Oxford, UK, v. 70, p. 38-50, 2016.
- TAVARES, L. V. A review of the contribution of Operational Research to Project Management. **European Journal of Operational Research**, London, v. 136, n. 1, p. 1-18, 2002.
- THRULOGACHANTAR, P.; ZAILANI, S. The influence of purchasing strategies on manufacturing performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, London, v. 22, n. 5, p. 641-663, 2011.
- VIANA, J. C.; ALENCAR, L. H. Metodologias para seleção de fornecedores: uma revisão da literatura. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 625-636, set./dez. 2012.
- VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Bruxelles: Wiley & Sons, 1992.
- VOSE, D. **Quantitative risk analysis: a guide to Monte Carlo simulation modelling**. Chichester: John Wiley, 1996.
- WEBER, C. A.; CURRENT, J. R.; BENTON, W. C. Vendor selection criteria and methods. **European Journal of Operational Research**, London, v. 50, p. 2-18, 1991.
- WERREMEYER, K. **Understanding and negotiating construction contracts: a contractor's and subcontractor's guide to protecting company assets**. Kingston, MA: Reed Construction Data, 2006.
- WILLIAMS, T. The contribution of mathematical modelling to the practice of project management. **IMA Journal of Management Mathematics**, Oxford, UK, v. 14, n. 1, p. 3-30, 2003.
- ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: McGraw-Hill, 1982.

ZEYDAN, M.; ÇOLPAN, C.; ÇOBANOĞLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 2741-2751, 2011.

ZHANG, H.-Y. *et al.* An extended outranking approach for multi-criteria decision-making problems with linguistic intuitionistic fuzzy numbers. **Applied Soft Computing Journal**, Amsterdam, v. 59, p. 462-474, 2017.

ZHANG, L.; ZOU, X.; KAN, Z. Improved strategy for resource allocation in repetitive projects considering the learning effect. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, VA, v. 140, n. 11, p. 1-8, 2014.

ZOU, X.; ZHANG, Q.; ZANG, L. Modeling and Solving the Deadline Satisfaction Problem in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Management in Engineering**, London, v. 34, n. 1, p. 1-12, 2018.

APÊNDICE A – MATRIZ DE DECISÃO DOS PACOTES DE SERVIÇOS

Este apêndice apresenta as matrizes de decisão para a escolha dos fornecedores dos pacotes de serviços para construção do parque eólico.

Tabela A1 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 1

Ordem de criticidade	Escavadeira hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
7º	Fornecedor A	0,52364	0,37500	0,33333	0,00000	0,06250
	Fornecedor B	1,00000	1,00000	1,00000	0,33333	1,00000
	Fornecedor C	0,00000	0,00000	0,00000	0,11111	0,00000
	Fornecedor D	0,52364	0,06250	0,00000	1,00000	1,00000
	Fornecedor E	0,70953	0,16667	0,33333	0,00000	0,37500

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A2 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 2

Ordem de criticidade	Perfuratriz hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
4º	Fornecedor F	0,28000	0,00000	0,40909	0,33333	0,00000
	Fornecedor G	0,79545	0,06250	0,31061	0,00000	0,16667
	Fornecedor H	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,37500
	Fornecedor I	0,35714	1,00000	0,08678	0,11111	0,37500
	Fornecedor J	1,00000	0,16667	0,00000	0,33333	1,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A3 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 3

Ordem de criticidade	Escavadeira hidráulica	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
5°	Fornecedor K	0,52364	0,06250	0,33333	0,00000	0,06250
	Fornecedor L	1,00000	1,00000	1,00000	0,33333	1,00000
	Fornecedor M	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	Fornecedor N	0,52364	0,37500	0,00000	1,00000	1,00000
	Fornecedor O	0,70953	0,16667	0,33333	0,11111	0,37500

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A4 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 4

Ordem de Criticidade	Fornecedor do ensaio	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
3°	Fornecedor P	0,00000	1,00000	0,09502	0,33333	0,50000
	Fornecedor Q	0,61735	0,06250	0,53846	0,00000	0,33333
	Fornecedor R	0,55000	0,37500	0,00000	0,11111	0,00000
	Fornecedor S	0,42308	1,00000	0,53846	1,00000	0,00000
	Fornecedor T	1,00000	0,00000	1,00000	0,33333	1,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A5 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 5

Ordem de criticidade	Concreto magro	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
8°	Fornecedor U	0,19592	0,37500	0,00000	0,33333	0,66667
	Fornecedor V	0,00000	0,16667	0,07692	1,00000	1,00000
	Fornecedor X	0,69552	1,00000	0,00000	0,11111	1,00000
	Fornecedor W	1,00000	0,00000	0,40000	0,00000	0,50000
	Fornecedor Z	0,31615	0,00000	1,00000	0,33333	0,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A6 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 6

Ordem de criticidade	Aço CA 50mm	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
6°	Fornecedor AA	0,15459	0,06250	0,01587	0,00000	0,00000
	Fornecedor AB	0,00000	0,16667	0,11429	0,33333	1,00000
	Fornecedor AC	0,54454	1,00000	0,11429	0,33333	0,66667
	Fornecedor AD	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,66667
	Fornecedor AE	0,15459	0,00000	0,00000	0,11111	1,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A7 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 7

Ordem de criticidade	Eletroduto	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
10°	Fornecedor AF	0,70000	0,00000	1,00000	0,33333	0,33333
	Fornecedor AG	0,71055	0,00000	0,86705	1,00000	0,50000
	Fornecedor AH	0,00000	0,06250	0,70940	0,11111	0,00000
	Fornecedor AI	0,42609	1,00000	0,23647	0,00000	0,00000
	Fornecedor AJ	1,00000	0,16667	0,00000	1,00000	1,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A8 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 8

Ordem de criticidade	Cimento	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
9°	Fornecedor AK	0,90083	0,00000	0,00000	0,33333	0,33333
	Fornecedor AL	0,00000	0,06250	1,00000	0,00000	1,00000
	Fornecedor AM	0,43083	0,37500	1,00000	1,00000	0,33333
	Fornecedor AN	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000
	Fornecedor AO	0,66061	1,00000	0,35714	0,33333	0,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A9 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 9

Ordem de criticidade	Material de ateramento	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
	Fornecedor AP	0,22917	1,00000	1,00000	0,33333	0,25000
	Fornecedor AQ	1,00000	0,37500	0,00000	0,00000	0,25000
2º	Fornecedor AR	0,48611	0,16667	0,00000	1,00000	0,00000
	Fornecedor AS	0,55952	0,16667	0,50000	0,11111	1,00000
	Fornecedor AT	0,00000	0,00000	1,00000	0,33333	0,00000

Fonte: O Autor (2020).

Tabela A10 – Matriz de decisão do Pacote de Serviço 10

Ordem de criticidade	Motoniveladora	Preço (R\$)	Conhecimento técnico	Localização (km)	SMS	Obras realizadas (quant.)
	Fornecedor AU	0,60294	0,37500	0,73333	0,33333	1,00000
	Fornecedor AV	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000
1º	Fornecedor AY	0,73214	0,37500	0,31429	0,33333	0,00000
	Fornecedor AX	0,29286	0,06250	1,00000	0,11111	1,00000
	Fornecedor AZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667

Fonte: O Autor (2020).