



**PREVISÃO DE RISCO DE ATRASO NA EXECUÇÃO DE OBRAS PÚBLICAS
POR MEIO DA LÓGICA *FUZZY*: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE
MANAUS**

Andrey Willen Nunes Valente

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento

Belém

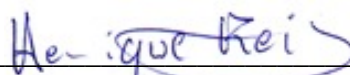
Setembro de 2021

**PREVISÃO DE RISCO DE ATRASO NA EXECUÇÃO DE OBRAS PÚBLICAS
POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE
MANAUS**

Andrey Willen Nunes Valente

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

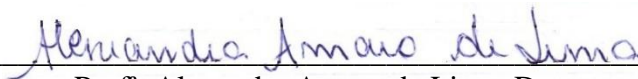
Examinada por:



Prof. Manoel Henrique Reis Nascimento, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



Prof^a. Alexandra Amaro de Lima, Dra.
(ITEGAM-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

SETEMBRO DE 2021

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA**

Valente, Andrey Willen Nunes, 1977-

Previsão de risco de atraso na execução de obras por meio da lógica *fuzzy*: um estudo de caso na cidade de Manaus / Andrey Willen Nunes Valente - 2021.

Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2021.

1. Lógica *fuzzy* 2. Obras públicas 3. Atraso de obras I.
Título

CDD 670.42

À minha amada esposa Christiane e aos meus filhos Ariel e Caleb, razões para enfrentar os obstáculos que surgiram na trajetória deste Mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno, que me abençoou, pois me deu vitórias nas adversidades que surgiram.

Ao professor e orientador Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento, pelo incentivo, acompanhamento e orientação na realização deste trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM e à Universidade Federal do Pará – UFPA, que me proporcionaram a oportunidade de cursar o mestrado.

Às três pessoas que estão continuamente comigo: minha amada esposa Christiane, um exemplo de perseverança e disposição; meus filhos Ariel Levi e Caleb Aser, que, apenas olhando para eles, me alegrei e me alegro em momentos de dificuldades.

À Secretaria Municipal de Infraestrutura da cidade de Manaus, que mesmo diante das dificuldades impostas pela pandemia da covid-19, proporcionou a realização de algumas pesquisas documentais.

Aos professores e colegas do PPGEP pelo incentivo, respeito e colaboração.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“A mente que se abre para alguma coisa
nova, nunca mais será a mesma ”*

(Albert Einstein)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**PREVISÃO DE RISCO DE ATRASO NA EXECUÇÃO DE OBRAS PÚBLICAS
POR MEIO DA LÓGICA *FUZZY*: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE
MANAUS**

Andrey Willen Nunes Valente

Setembro/2021

Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Não é incomum a ocorrência de atrasos nas construções públicas, pois muitas vezes os seus prazos de execução são extrapolados, mesmo sendo tais prazos obtidos mediante estudos técnicos preliminares. As causas que originam tais atrasos são variadas, que vão desde as precipitações pluviométricas à acréscimos de quantidades dos serviços existentes ou acréscimos de novos serviços. Nesta pesquisa buscou-se obter um procedimento, mediante a lógica *fuzzy*, para prever o risco de atraso que algumas variáveis podem causar no prazo de execução da obra, permitindo que a administração pública ou a empresa contratada, adote medidas que considerarem essenciais para mitigação desse atraso. Inicialmente foi realizada a pesquisa documental e bibliográfica afim de identificar as causas que mais contribuem para a ocorrência de atrasos nas obras. Uma vez identificadas tais causas iniciou-se a construção do sistema de inferência *fuzzy*, sendo consideradas como variáveis linguísticas as causas mais significativas identificadas na pesquisa, que foram seis, a saber: o fator de contratação, que corresponde ao quociente entre a valor da proposta da empresa e o valor orçado pela administração; o valor da obra, que é o valor do contrato da obra; o projeto executivo, que são os projetos de engenharia utilizados; a alteração de quantidades, que são as modificações dos quantitativos de serviços existentes ou acréscimo de novos serviços; a autorização de órgãos públicos, que corresponde à permissão ou apoio de

qualquer órgão público ou empresa pública para a execução da obra; e a chuva. Para simulação do sistema de inferência *fuzzy* criado, foram inseridos dados reais de quatro obras públicas, sendo as respostas dessa simulação satisfatórias, devido ao fato de serem confirmadas pela documentação das respectivas obras. Conclui-se que o sistema se mostrou proveitoso, pois foi possível prever o risco de atraso na execução de obras públicas na cidade de Manaus, podendo ser utilizado tanto pela administração pública quanto pela empresa contratada para mitigação das causas de atrasos nas execuções das obras públicas.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**FORECAST RISK OF DELAY IN THE EXECUTION OF PUBLIC WORKS
THROUGH *FUZZY* LOGIC: CASE STUDY IN THE CITY OF MANAUS**

Andrey Willen Nunes Valente

September/2021

Advisor: Manoel Henrique Reis Nascimento

Research Area: Process Engineering

The occurrence of delays in public constructions is not uncommon, as their execution deadlines are often extrapolated, even though such deadlines are obtained through preliminary technical studies. The causes that originate such delays are varied, ranging from rainfall to increases in quantities of existing services or increases in new services. In this research, we sought to obtain a procedure, using *fuzzy* logic, to predict the risk of delay that some variables may cause in the period of execution of the work, allowing a public administration or a contracted company to adopt measures that they consider essential for mitigation of this delay. Initially, documentary and bibliographic research was carried out in order to identify the causes that most contribute to the occurrence of delays in the works. Once these causes were identified, the construction of the *fuzzy* inference system was started, with six of the most significant causes identified in the research being considered as linguistic variables, namely: the hiring factor, which corresponds to the quotient between the value of the proposal of the company and the amount budgeted by the administration; the value of the work, which is the value of the contract for the work; the executive design, which are the engineering designs used; the change in quantities, which are changes in the quantities of existing services or addition of new services; authorization from public agencies, which corresponds to the permission or support of any public agency or public company for the execution of the work; and the rain. For simulation of the created *fuzzy* inference system, real data from four public works were entered, and the answers of this simulation were satisfactory,

due to the fact that they are confirmed by the documentation of the respective works. It is concluded that the system proved to be useful, as it was possible to predict the risk of delay in the execution of public works in the city of Manaus, and it can be used by both the public administration and the contractor to mitigate the causes of delays in the execution of public works.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - OBRAS PÚBLICAS.....	5
2.1.1 - Prazo da obra.....	8
2.1.2 - Planejamento da obra.....	8
2.1.3 - Cumprimento do prazo da obra.....	9
2.1.4 - Atraso da obra.....	10
2.1.5 - Causas dos atrasos.....	11
2.1.6 - Classificação dos atrasos.....	15
2.1.7 - Efeitos do atraso da obra.....	16
2.2 - A LÓGICA <i>FUZZY</i> E OS SEUS CONJUNTOS.....	17
2.2.1 - As variáveis linguísticas.....	19
2.2.2 - Funções e graus de pertinência <i>fuzzy</i>.....	20
2.2.3 - Sistemas de inferência <i>fuzzy</i>.....	22
2.2.3.1 - Fuzzificação.....	23
2.2.3.2 - As regras de inferência <i>fuzzy</i>	23
2.2.3.3 - A inferência <i>fuzzy</i>	24
2.2.3.4 - Defuzzificação.....	24
2.2.4 - Os modelos de inferência <i>fuzzy</i>.....	25
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	26
3.1 - DESCRIÇÃO DA PESQUISA.....	26
3.2 - CARACTERIZAÇÃO E DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	26
3.3 - ANÁLISE DOS PROCESSOS ADMINISTRATIVOS DAS OBRAS PÚBLICAS.....	27
3.4 - CRIAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	28

3.5 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i> PROPOSTO.....	28
3.6 - ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA.....	29
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE ATRASOS DAS OBRAS PÚBLICAS.....	30
4.2 - SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS.....	31
4.3 - DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA.....	33
4.4 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	35
4.5 - RESULTADO PRÉVIO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i> PROPOSTO.....	37
4.6 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i> PROPOSTO.....	45
4.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	54
4.7.1 - Análise dos resultados utilizando dados reais das obras.....	54
4.7.2 - Análise dos resultados utilizando dados hipotéticos para as obras.....	55
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	57
5.1 - CONCLUSÕES.....	57
5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Projeto de engenharia.....	5
Figura 2.2	Trecho de um orçamento.....	6
Figura 2.3	Cronograma físico-financeiro.....	7
Figura 2.4	Comparação entre a lógica clássica e a lógica <i>fuzzy</i>	18
Figura 2.5	Variável linguística temperatura.....	19
Figura 2.6	Função de pertinência triangular.....	21
Figura 2.7	Função de pertinência trapezoidal.....	21
Figura 2.8	Função de pertinência gaussiana.....	22
Figura 2.9	Sistema de inferência <i>fuzzy</i>	23
Figura 3.1	Delineamento da pesquisa.....	27
Figura 4.1	Sistema de inferência <i>fuzzy</i> proposto.....	37
Figura 4.2	Variável linguística fator de contratação.....	38
Figura 4.3	Variável linguística valor da obra.....	38
Figura 4.4	Variável linguística projeto executivo.....	39
Figura 4.5	Variável linguística alteração de quantidades.....	40
Figura 4.6	Variável linguística autorização de órgãos públicos.....	40
Figura 4.7	Variável linguística chuva.....	41
Figura 4.8	Variável linguística previsão de risco de atraso.....	41
Figura 4.9	Parte das regras de inferência.....	42
Figura 4.10	Processo de inferência do sistema.....	43
Figura 4.11	Processo de inferência do sistema com novos valores de entrada....	44
Figura 4.12	Gráfico de superfície de resposta (primeiro gráfico).....	44
Figura 4.13	Gráfico de superfície de resposta (segundo gráfico).....	45
Figura 4.14	Resposta do sistema de inferência para a obra 1.....	47
Figura 4.15	Resposta do sistema de inferência para a obra 2.....	47
Figura 4.16	Resposta do sistema de inferência para a obra 3.....	48
Figura 4.17	Resposta do sistema de inferência para a obra 4.....	48
Figura 4.18	Nova resposta do sistema de inferência para a obra 1.....	51
Figura 4.19	Nova resposta do sistema de inferência para a obra 2.....	52
Figura 4.20	Nova resposta do sistema de inferência para a obra 3.....	52
Figura 4.21	Nova resposta do sistema de inferência para a obra 4.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Variáveis linguísticas de entrada e saída.....	33
Tabela 4.2	Variáveis linguísticas com os valores numéricos e linguísticos.....	34
Tabela 4.3	Critérios do sistema de inferência <i>fuzzy</i> proposto.....	36
Tabela 4.4	Dados das obras públicas construídas.....	46
Tabela 4.5	Resultado do sistema de inferência proposto.....	49
Tabela 4.6	Comparação das respostas do sistema com as informações documentais.....	49
Tabela 4.7	Respostas do sistema e as causas dos atrasos.....	50
Tabela 4.8	Novos dados para as variáveis linguísticas de entrada.....	51
Tabela 4.9	Resultados do sistema de inferência antes e após modificações.....	53

NOMENCLATURA

CBIC	CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IBRAOP	INSTITUTO BRASILEIRO DE OBRAS PÚBLICAS
PAIC	PESQUISA ANUAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
TCU	TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015), a construção civil é classificada em três setores, que são: a construção de edifícios, que abrange a construção de todo tipo de edificação residencial, comercial, industrial, agropecuária ou pública; as obras de infraestrutura, que abrangem as obras referentes a portos, aeroportos, rodovias, ferrovias, dutovias, energia elétrica, telecomunicações, sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto; e os serviços especializados para construção que integram o processo construtivo, que abrangem os serviços que exigem o emprego de técnicas e equipamentos específicos para a sua realização, como por exemplo, os serviços de fundações.

Apesar dessa distinção entre os setores, a construção civil sofre modificações no decorrer do tempo, onde o IBGE, por meio da Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, tem estudado essas modificações desde os anos 90, onde seus resultados têm servido de parâmetros para análise das atividades da indústria da construção.

Na PAIC realizada pelo IBGE (2020) em 2018, constatou-se que a construção civil contribuiu com o montante de R\$ 278 bilhões, sendo R\$ 126,6 bilhões na construção de edifícios, R\$ 87 bilhões em obras de infraestrutura e R\$ 64,4 bilhões em serviços especializados da construção.

Nesse estudo, a participação da administração pública como demandante nas obras de construção de edifícios correspondeu a 21,9%, enquanto que nas obras de infraestrutura correspondeu a 50,4% e nos serviços especializados correspondeu a 19,3%, mostrando desta forma a participação significativa que a administração pública possui na construção civil nacional.

Essa participação busca ofertar para a população aquilo que está disposto no art. 6º da Constituição Federal do Brasil, ou seja, os direitos sociais, que são a saúde, a educação, a moradia, o transporte, o lazer e outros (BRASIL, 2016).

Dentre as formas que o poder público pode proporcionar o acesso a esses direitos é por meio da construção civil, ou seja, contratando empresas privadas para a

realização das obras de construção de hospitais, maternidades, escolas, creches, rodovias, quadras esportivas, praças, entre outras obras.

Todavia o poder público não pode contratar de qualquer forma, pois deve obediência aos princípios estabelecidos no art. 37 da Constituição Federal, que entre esses princípios, está o da legalidade (BRASIL, 2016).

Esse princípio é explicado por SCATOLINO e TRINDADE (2016) da seguinte maneira: “na vida particular é lícito fazer tudo o que a lei não proíba, na administração pública só é lícito fazer aquilo que a lei autoriza”, e, a administração pública, exceto nos casos previstos na legislação, só está autorizada a contratar obras ou serviços de engenharia mediante processo licitatório (BRASIL, 2016).

No entanto, a realização da licitação está condicionada à existência do projeto básico, que é o “conjunto de elementos necessários [...] com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra [...] elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares [...] que possibilite [...] a definição [...] do prazo de execução” (BRASIL, 2017).

Nota-se nesse conceito, que a obtenção do prazo de execução não deve ser de forma aleatória, mas de acordo com a caracterização da obra e os estudos técnicos preliminares realizados.

O processo licitatório por sua vez, conforme ALTOUNIAN (2016), divide-se em duas fases, que é a interna e a externa, onde a fase interna, que inclui a elaboração do projeto básico, é iniciada na abertura do processo administrativo correspondente e terminada no momento da publicação do edital de licitação ou na entrega do convite. Já a fase externa, é iniciada no momento do término da fase interna e terminada na assinatura do instrumento contratual.

Dentre os elementos que constituem o projeto básico, está o cronograma, que pode ser: físico, quando se referir às quantidades dos serviços que foram realizadas no período; ou financeiro, quando se referir aos recursos financeiros desembolsados referentes às essas quantidades realizadas (ALTOUNIAN, 2016).

Já o Instituto Brasileiro de Obras Públicas – IBRAOP (2006) define o cronograma físico-financeiro como sendo a “representação gráfica do desenvolvimento dos serviços a serem executados ao longo do tempo de duração da obra demonstrando, em cada período, o percentual físico a ser executado e o respectivo valor financeiro despendido”.

Apesar do prazo de execução das obras públicas ser identificado como um resultado dos estudos técnicos que possibilitam a sua definição, e ainda, a sua representação por meio do cronograma, não é incomum a ocorrência do seu descumprimento, pois muitas vezes esses prazos são extrapolados em virtude de paralisações de etapas de serviços, necessidade de acréscimos de novos serviços, precipitações pluviométricas (chuvas), ou seja, situações que não foram previstas anteriormente e que impactam diretamente no prazo de execução.

Diante disso, se vê a necessidade de se realizar um estudo visando obter um modelo que permita prever o nível de impacto no prazo de execução da obra que determinados fatores podem causar.

Neste prisma, este trabalho procura respostas às seguintes questões:

- Quais causas contribuem para as ocorrências de atrasos das obras públicas na cidade de Manaus?
- É possível criar um modelo de previsão de impacto no prazo de execução da obra?

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolver um modelo de inferência *fuzzy* para previsão de atraso no prazo de execução de obras públicas na cidade de Manaus.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Identificar as causas dos atrasos das obras públicas;
- Definir as variáveis mais significativas para o modelo de inferência *fuzzy*;
- Desenvolver o modelo de inferência *fuzzy*; e
- Implementar o modelo de inferência *fuzzy*.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho se propõe a criar um modelo de previsão de risco de atraso no prazo de execução da obra, mediante a metodologia *fuzzy*.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura organizacional deste trabalho está dividida em cinco capítulos, ordenados do seguinte modo:

O capítulo 1 deste trabalho apresenta a motivação do estudo, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta os principais conceitos e assuntos essenciais para o desenvolvimento da dissertação. Apresenta a definição de obras públicas, a forma de determinação do seu prazo de execução, a definição do atraso da obra e seus efeitos bem como a sua classificação e suas causas. Também é apresentado os conceitos sobre lógica *fuzzy*, variáveis linguísticas, funções e graus de pertinência, regras de produção *fuzzy* bem como sistemas de inferência *fuzzy* e seus modelos.

O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para a realização da pesquisa proposta e o desenvolvimento e a implementação do modelo de inferência *fuzzy*.

O capítulo 4 por sua vez traz o resultado do modelo de inferência *fuzzy* proposto, descrevendo as variáveis linguísticas de entrada e saída.

O capítulo 5 apresenta a conclusão sobre a pesquisa realizada e as sugestões de novas pesquisas sobre o assunto.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - OBRAS PÚBLICAS

De acordo com o Tribunal de Contas da União – TCU (2009) obra pública é “toda construção, reforma, fabricação, recuperação ou ampliação de bem público”, podendo ser efetuada de forma direta, ou seja, realizada pelo próprio órgão da administração pública, ou de forma indireta, que é aquela efetuada por empresas contratadas para tal finalidade, sendo essa contratação efetuada, exceto nos casos previstos na legislação, mediante processo licitatório, que por sua vez, possui o projeto básico como elemento essencial.

Esse projeto básico, conforme o IBRAOP (2006), é um documento que deve possuir informações capazes de mostrar, de forma detalhada, a obra que se deseja obter, sendo essas informações constituídas de desenhos, memorial descritivo, especificação técnica, cronograma físico financeiro e o orçamento, sendo este composto pelos orçamentos sintético e analítico.

Dentre esses documentos, o desenho possui a sua distinção, por ser a representação gráfica daquilo que se deseja construir, reformar ou ampliar. A Figura 2.1 é um exemplo de desenho que constitui o projeto básico.

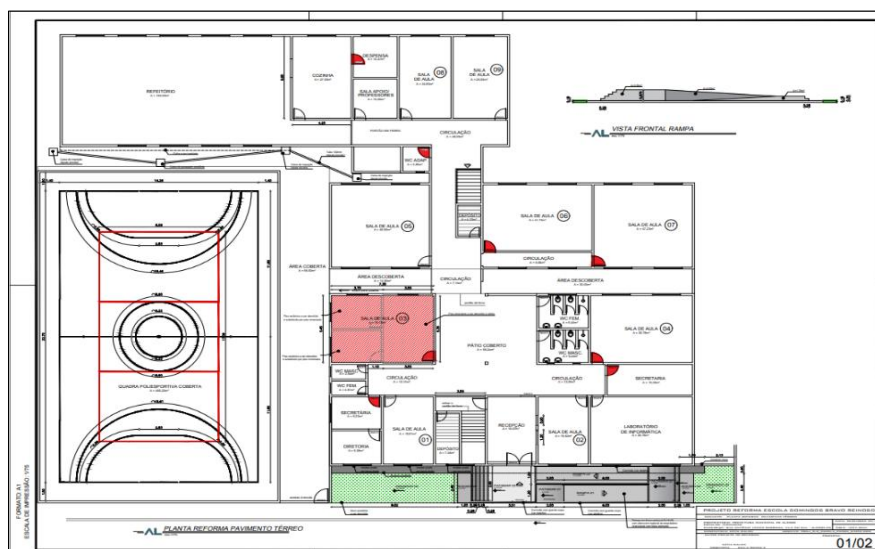


Figura 2.1 - Projeto de engenharia.
Fonte: Prefeitura Municipal de Alegre (2019).

Nessa Figura é possível visualizar as informações essenciais da obra, como os ambientes que a constituem e as suas dimensões.

A Figura 2.2 é um trecho de um orçamento sintético, que também é um documento que constitui o projeto básico.

ITEM		DESCRIÇÃO	CLASS	CÓDIGO	UNIDADE	QUANT.	PREÇO(R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
01. GERENCIAMENTO DA OBRA								
01.01		ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SER.CG	90776U	H	352,00	36,73	12.928,96
01.02		ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA JUNIOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SER.CG	90777U	H	176,00	108,35	19.069,60
02. SERVIÇOS PRELIMINARES								
02.01		EXECUÇÃO DE ALMOXARIFADO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, INCLUSO PRATELEIRAS. AF_02/2016	SER.CG	93208U	M2	2,97	685,09	2.034,71
02.02		EXECUÇÃO DE REFEITÓRIO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTOS. AF_02/2016	SER.CG	93210U	M2	4,30	488,22	2.099,34
02.03		EXECUÇÃO DE SANITÁRIO E VESTIÁRIO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO. AF_02/2016	SER.CG	93212U	M2	3,40	835,18	2.839,61
02.04		TAPUME COM TELHA METÁLICA. AF_05/2018	SER.CG	98459U	M2	151,40	78,07	11.819,79
02.05		INSTALAÇÃO PROVISÓRIA ELÉTRICA BAIXA TENSÃO PICANT OBRA.M3-CHAVE 100A CARGA 3KWH,20CV EXCL FORN MEDIDOR	SER.CG	CPU.MAU_001	UN	1,00	814,06	814,06
02.06		PLACA DE OBRA EM LONA COM IMPRESSÃO DIGITAL- FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	SER.CG	CPU.MAU_002	M2	4,80	128,32	615,93
02.07		LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA CI TORNEIRA, TUBOS, REGISTRO E CONEXÕES	SER.CG	CPU.MAU_003	UN	1,00	227,39	227,39
02.08		TAXAS E EMOLUMENTOS - MAJES	SER.CG	CPU.MAU_005	UN	1,00	677,52	677,52
03. TRANSPORTES								
03.01		CARGA MANUAL DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3	SER.CG	72897U	M3	10,71	26,08	279,31
03.02		TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_01/2018	SER.CG	97914U	M3XKM	60,00	1,47	88,20
04. DEMOLIÇÕES, RETIRADAS E REMOÇÕES								
04.01		RETIRADA E RECOLOCAÇÃO DE TELHA CERÂMICA CAPA-CANAL, COM ATÉ DUAS ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	SER.CG	100330U	M2	142,88	18,07	2.581,84
04.02		DEMOLIÇÃO DE ALVENARIA DE BLOCO FURADO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97622U	M3	2,66	52,13	138,66
04.03		DEMOLIÇÃO DE ARGAMASSAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97631U	M2	80,17	3,04	243,71
04.04		REMOÇÃO DE FORROS DE DRYWALL, PVC E FIBROMINERAL, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97640U	M2	148,52	1,79	265,85
04.05		REMOÇÃO DE TRAMA METÁLICA OU DE MADEIRA PARA FORRO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97642U	M2	148,52	3,20	475,26
04.06		REMOÇÃO DE PORTAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97644U	M2	7,50	8,43	63,22
04.07		REMOÇÃO DE JANELAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97645U	M2	15,00	29,55	443,25
04.08		REMOÇÃO DE TELHAS, DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97647U	M2	119,90	3,47	416,05
04.09		REMOÇÃO DE TUBULAÇÕES (TUBOS E CONEXÕES) DE ÁGUA FRIA, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97662U	M	3,20	0,45	1,44
04.10		REMOÇÃO DE ACESSÓRIOS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97664U	UN	3,00	1,40	4,20
04.11		REMOÇÃO DE METAIS SANITÁRIOS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	SER.CG	97666U	UN	1,00	8,14	8,14
04.12		REMOÇÃO DE RIFLO OU CALHA METÁLICA	SER.CG	CPU.MAU_006	M	438,76	10,17	4.462,18
04.13		REMOÇÃO DE PINTURA PVA/ACRILICA	SER.CG	CPU.MAU_007	M2	280,01	10,23	2.864,50
04.14		DEMOLIÇÃO DE CALÇADA, DE FORMA MECANIZADA COM MARTELETE, SEM REAPROVEITAMENTO	SER.CG	CPU.MAU_029	M3	2,75	134,77	370,61
05. COBERTURA								
05.01		TELHAMENTO COM TELHA CERÂMICA CAPA-CANAL, TIPO COLONIAL, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL. AF_07/2019	SER.CG	94201U	M2	32,80	45,68	1.498,30
05.02		TELHAMENTO COM TELHA DE AÇO/ALUMÍNIO E = 0,5 MM, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	SER.CG	94213U	M2	87,10	62,65	5.456,81

Figura 2.2 - Trecho de um orçamento.

Fonte: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (2020).

Nessa Figura é possível visualizar as informações sobre quais serviços serão necessários para executar, seus quantitativos, seus preços unitários e seus preços totais.

A Figura 2.3 por sua vez, é um exemplo de cronograma físico-financeiro, que da mesma maneira, é um dos documentos que constituem o projeto básico.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DAS ETAPAS	PREÇO ETAPA	% ETAPA	DÍAS 10		DÍAS 20		DÍAS 30	
				VALOR R\$	PERC. %	VALOR R\$	PERC. %	VALOR R\$	PERC. %
1.	GERENCIAMENTO DE OBRAS/FISCALIZAÇÃO	25.009,76	11,67%	6.395,00	25,57%	12.304,80	49,20%	6.309,96	25,23%
2.	SERVIÇOS PRELIMINARES/TÉCNICOS	17.528,07	8,18%	17.528,07	100,00%				
3.	TRANSPORTES DE MATERIAIS	11.047,32	5,15%			5.523,66	50,00%	5.523,66	50,00%
4.	INFRAESTRUTURA	60.432,02	28,19%			42.302,41	70,00%	18.129,61	30,00%
5.	ALVENARIA/VEDAÇÃO/DIVISÓRIA	94.155,05	43,92%	28.246,52	30,00%	47.077,53	50,00%	18.831,01	20,00%
6.	SERVIÇOS FINAIS	6.220,12	2,90%					6.220,12	100,00%
TOTAL COM BDI (POR AVANÇOS)		214.392,34	100,00%	52.169,58	24,334%	107.208,40	50,006%	55.014,36	25,661%
TOTAL COM BDI (ACUMULADO)		214.392,34	100,00%	52.169,58	24,334%	159.377,98	74,339%	214.392,34	100,000%

Figura 2.3 - Cronograma físico-financeiro.

Fonte: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (2020).

Já nessa Figura é possível visualizar as informações referentes às execuções dos serviços em cada mês, como o percentual físico a ser executado e o respectivo valor financeiro a ser despendido bem como o prazo total da obra.

É essencial que os documentos que constituem o projeto básico sejam resultantes de estudos que garantam não somente a sua viabilidade técnica, mas também a avaliação do seu custo e prazo. Porque na visão de ALTOUNIAN (2016), os erros substanciais existentes, acarretarão grandes embaraços na coordenação das obras quanto aos prazos, custo e qualidade.

Em relação ao orçamento, quando o mesmo é efetuado de forma deficiente, inevitavelmente ocorrerão problemas e prováveis fracassos referentes ao custo e prazo (MATTOS, 2019a), e, quando não forem bem elaborados e não refletirem a realidade da obra e mercado, as obras ficarão sujeitas às consequências, tais como: atrasos, aditamentos contratuais, paralisações entre outras (TISAKA, 2011).

Desta forma percebe-se que, as falhas na elaboração do projeto básico, comprometem, quando menos, o prazo da obra inicialmente estabelecido.

2.1.1 - Prazo da obra

Segundo TISAKA (2011) o prazo da obra está relacionado ao seu tempo de execução, de forma que, cada serviço constituinte da obra, possui uma duração pertinente a ele.

Essa duração é a medida do tempo despendido na sua execução, podendo ser em horas, dias, semanas ou meses, pois depende da quantidade do serviço, da produtividade e da quantidade dos recursos destinados para sua execução (MATTOS, 2019b).

LIMMER (1997) explica que o tempo de duração da obra tem a sua determinação efetuada a partir da duração de cada serviço que a constitui e o seu respectivo inter-relacionamento, e, a duração de cada serviço é em função tanto da sua quantidade a ser executada, quanto da mão de obra diretamente envolvida na sua execução, tendo a sua duração obtida conforme Eq. (2.1).

$$t_i = Q_i / P_i \quad (2.1)$$

Sendo:

t_i = tempo de duração do serviço;

Q_i = quantidade do serviço a ser executado;

P_i = produtividade da mão de obra.

Desta forma pode-se observar que o prazo da obra é em função das características dos serviços, da inter-relação existente entre os mesmos, das suas quantidades e da disponibilidade de mão de obra, insumos e equipamentos para sua execução, sendo a sua obtenção ainda na etapa de planejamento.

2.1.2 - Planejamento da obra

Para se determinar o prazo da obra é essencial que, de forma inicial, se identifique quais serviços serão executados, devendo essa identificação ser efetuada com bastante cautela, pois caso um dos serviços não seja identificado no cronograma, a sua ausência refletirá no andamento da obra, pois o serviço deverá ser executado, porém a sua execução não estava contemplada no espaço de tempo programado, comprometendo desta maneira o prazo da obra previsto (MATTOS, 2019b).

Finalizada a etapa de identificação dos serviços, dar-se início à obtenção do seu tempo de duração, o estabelecimento dos seus inter-relacionamentos e a determinação dos serviços que são precedentes de outros, sendo em seguida efetuada a representação gráfica, que é o diagrama de rede, que permite a identificação dos serviços interligados e a sequência de execução. (MATTOS, 2019b).

Concluído o diagrama de rede, processa-se os cálculos necessários para obtenção do prazo total da obra, sendo esse prazo correspondente à sequência de serviços do diagrama de rede que consome o maior tempo parra sua realização, onde o caminho que interliga esses serviços nesse diagrama é identificado como o caminho crítico, enquanto que os serviços identificados nesse caminho, são os serviços críticos.

Os serviços da obra, sendo críticos ou não, utilizam mão de obra, insumos e equipamentos, que são diluídos ao longo do seu prazo de execução, e que, por mais que o processo construtivo seja mecanizado, independentemente da etapa de execução da obra, a mão de obra será sempre um elemento determinante para o dimensionamento do seu prazo de execução (LIMMER, 1997).

Nesse ponto é essencial fazer a distinção entre a produção e a produtividade, uma vez que estes termos estão diretamente relacionados com a execução da obra.

Acerca disso, MATTOS (2019a) afirma que a produção de um serviço se refere à medida de unidades feitas em um intervalo de tempo, enquanto que a produtividade é a velocidade com que essa produção é alcançada.

Esse mesmo autor explica ainda que há duas formas de cálculo para a determinação do prazo da obra, onde uma dimensiona a duração do serviço em função da mão de obra disponível, e a outra dimensiona a mão de obra em função do prazo estipulado.

Desta maneira, observa-se que a mão de obra é um elemento determinante na obtenção do prazo de execução, pois havendo uma baixa produtividade desse elemento, reflexos negativos surgirão, ou seja, serviços que poderiam estar em uma determinada etapa de execução, estarão em uma aquém da programada, afetando assim o cumprimento do prazo da obra estipulado.

2.1.3 - Cumprimento do prazo da obra

De acordo com o inciso IV do art. 40 da Lei nº 8.666/1993 (BRASIL, 2017), a contratação de terceiros pela administração pública mediante processo licitatório para a

realização das suas obras, indica a existência de projeto básico, uma vez que este documento deve ser parte integrante do edital de licitação.

Dessa forma nota-se que quando uma empresa se propõe a participar do processo licitatório, demonstra disposição para entregar o objeto da contratação no prazo descrito no cronograma do projeto básico.

Acerca dos contratos celebrados com a administração pública, o inciso IV do art. 55 da Lei nº 8.666/1993 (BRASIL, 2017), especifica que o estabelecimento dos prazos de início de etapas de execução, de conclusão, de entrega, de observação e de recebimento definitivo, é uma cláusula necessária. Isso mostra que o contratado, ao assinar o termo de contrato ou instrumento equivalente, concorda em cumprir tudo o que está nele descrito, inclusive o prazo de execução.

No entanto, conforme no § 1º do art. 57 da Lei nº 8.666/1993 (BRASIL, 2017), os contratos administrativos da administração pública admitem prorrogação, desde que ocorra alguns dos motivos descritos nos incisos do referido parágrafo, que entre os quais estão: a alteração do projeto ou especificações pela Administração, a interrupção da execução do contrato ou diminuição do ritmo de trabalho por ordem e no interesse da Administração e o aumento das quantidades inicialmente previstas no contrato, nos limites permitidos.

Essa prorrogação contratual dada pela administração pública ao contratado, afasta a aplicação das penalidades descritas no contrato.

2.1.4 - Atraso da obra

Como visto anteriormente, a prorrogação contratual não afasta a existência do atraso da obra.

ASSAF e AL-HEJJI (2006) conceituam o atraso como sendo “o tempo excedido além da data de conclusão especificada em um contrato, ou além da data que as partes concordaram para a entrega de um projeto”.

COUTO (2007) por sua vez, afirma que na literatura em geral tem se definido atraso como sendo “a execução tardia de um trabalho, excedendo os prazos previstos na programação/distribuição para as atividades ou prazo global do projeto previsto contratualmente”. Afirma também, que acerca dessa definição, a literatura especializada possibilita fazer a distinção de duas versões, onde alguns autores optam por uma definição mais abrangente ao referenciar os atrasos como sendo a “derrapagem do prazo

em relação ao contratual ou à programação de atividades”, enquanto que outros preferem referenciar os atrasos unicamente “com as atividades críticas envolvidas no processo de construção”. Afirma ainda que ulteriormente a generalidade da literatura tem direcionado a definição dos atrasos da construção como sendo a “derrapagem do prazo de execução para além da data prevista no contrato ou para além da data de conclusão das atividades críticas”.

Já ZIDANE e ANDERSEN (2018) afirmam que o atraso é um risco intrínseco à grande parte dos projetos de construção, não devendo ser ignorado, mas ser cuidado de forma similar em relação aos outros riscos a que esses projetos estão sujeitos.

Desta maneira nota-se que o termo **atraso** possui várias definições, e, mesmo existindo essa variedade, elas convergem para o sentido de descumprimento do prazo de execução estabelecido.

Não obstante da contratação efetuada pela administração pública estipular um prazo a ser cumprido pelo contratado na execução da obra, não é incomum a ocorrência do seu descumprimento. Ainda que ocorra prorrogação contratual, que afasta a aplicação de penalidades ao contratado, tal prorrogação não afasta a ocorrência do atraso e nem as suas causas e efeitos.

2.1.5 - Causas dos atrasos

De acordo com GUPTA e KUMAR (2020), o grande problema habitual da indústria da construção civil em países em desenvolvimento é a extrapolação dos prazos de execução.

Desta forma observa-se que é imprescindível identificar as verdadeiras causas dos atrasos de obras, objetivando minimizar ou impedir a sua ocorrência em qualquer obra.

COUTO (2007) afirma que essas causas podem ser atribuídas tanto para o proprietário quanto para o construtor, como também podem ser ainda atribuídas a terceiros, e, na pesquisa que realizou, ele identificou que entre as causas atribuídas ao proprietário estão: a falta de disponibilidade do terreno, a ordem tardia para prosseguir e a interferência com o trabalho na obra, enquanto que entre as causas de atrasos atribuídas ao construtor estão: a mobilização lenta, a mão de obra desqualificada, a greve causada por práticas de trabalhos injustas, o atraso na entrega de materiais e componentes e o fracasso em coordenar vários subempreiteiros. Já entre as causas que

são atribuídas a terceiros, ou seja, aquelas que não são atribuídas nem ao construtor e nem ao proprietário, estão: os atos de guerra, as rebeliões, o terrorismo, os tumultos populares, os vandalismos, as epidemias, as pragas de animais, as condições climáticas anormais, os sismos, as inundações, os raios, os furacões, entre outros.

Já CHOUDHRY *et al.* (2014), em seu trabalho realizado sobre a análise de risco de custo e cronograma de construção de ponte no Paquistão, além de dividirem os fatores de risco em categorias, identificaram que entre os fatores principais estão: a falha financeira do empreiteiro (risco financeiro), a má gestão e supervisão local pelo empreiteiro (risco de gestão), a indisponibilidade de terreno ou faixa de servidão para acesso ao local (risco externo), o atraso nas aprovações dos órgãos reguladores (risco externo), o planejamento de projeto inadequado pelo empreiteiro (risco de projeto), a instabilidade política (risco externo) e a estimativas de custos e cronogramas irrealistas pelo proprietário (risco contratual).

Já na pesquisa sobre a ocorrência de atrasos nas obras em Burkina Faso, BAGAYA e SONG (2016) identificaram que entre as causas estão: a capacidade financeira do empreiteiro, as condições climáticas, os atrasos na obtenção de licença de agências governamentais, retrabalho pelo empreiteiro devido a erros de construção e preço baixo do empreiteiro.

LARSEN *et al.* (2016) por sua vez, no trabalho efetuado sobre atrasos de obras na Dinamarca, identificaram que entre as causas estão: a falta de financiamento do projeto, o atraso ou longo tempos de processo causados por outras autoridades, a falta de planejamento de projetos, os erros ou omissões em obras e a falta de identificação das necessidades.

Já ASSBEIHAT (2016) realizando uma pesquisa sobre os atrasos de obras na Jordânia, resumiu os potenciais fatores, encontrados na literatura, em três categorias que foram: os elementos de produção, que compreende os fatores relacionados à mão de obra, aos materiais e aos equipamentos; o ambiente interno, que compreende aos fatores relacionados ao proprietário, ao empreiteiro e ao consultor; e o ambiente externo, que compreende fatores relacionados ao clima, aos regulamentos governamentais e às outras razões. Nessa pesquisa ele identificou que entre as causas que contribuem para a ocorrência do atraso estão: a escassez de mão de obra (elemento de produção), a escassez de material (elemento de produção), os muitos pedidos de alteração do proprietário (ambiente interno), os atrasos no pagamento do contratado pelo proprietário

(ambiente interno), as dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho (ambiente externo) e as condições climáticas (ambiente externo).

NASSAR (2016) por sua vez, no trabalho feito sobre as causas e efeitos do atraso na indústria da construção no Egito, identificou, que entre as causas com responsabilidade atribuída ao proprietário estão: a tomada de decisão lenta, a ausência de pagamento ao empreiteiro, pagamento parcial durante a construção e os (projetos) desenhos incompletos; entre as causas de responsabilidade atribuída ao empreiteiro, estão: a má gestão do local e supervisão, os erros de construção e a baixa qualificação da equipe técnica; e entre as causas com outras origens estão: as condições climáticas e a escassez de material e mão de obra.

Já NYONI e BONGA (2017) na pesquisa realizada acerca dos fatores que causam atrasos em projetos de construção no Zimbábue, identificaram que os atrasos podem ser originados tanto no proprietário quanto no empreiteiro, ou ainda, a outros fatores, podendo ser: o contrato, o material, o consultor, entre outros. Entre os atrasos identificados por esses autores, de responsabilidade atribuída ao proprietário, estão: o atraso de pagamento, o atraso na revisão e aprovação de documentos de desenho e suspensão da execução da obra. Entre os atrasos identificados de responsabilidade atribuída ao empreiteiro, estão: dificuldades para financiamento da obra e equipe técnica pouco qualificada. Já entre os atrasos com responsabilidade atribuída a outros fatores, estão: falta de trabalhadores com experiência, pedidos de alteração durante a execução da obra e o preço baixo do empreiteiro.

Já MPOFU *et al.* (2017), no trabalho realizado sobre os motivos que contribuem para a ocorrência de atrasos em projetos de construção nos Emirados Árabes Unidos, explicam que os atrasos podem ocorrer por fatores relacionados ao proprietário, ao empreiteiro, ao consultor e a outros fatores. Entre os atrasos em que os fatores são relacionados ao proprietário, estão: as mudanças de escopo e pedidos de alteração e a seleção de empreiteiro com preço mais baixo. Entre os fatores relacionados ao empreiteiro, estão: o planejamento inadequado, o retrabalho e mobilização lenta. Já entre os fatores relacionados ao consultor, estão: erros e divergências nos projetos (desenhos), alterações de projetos e projetos incompletos no momento da licitação. Nos atrasos com os fatores relacionados a terceiros, estão: a obtenção de licenças municipais ou governamentais, práticas fraudulentas e propinas.

WANG *et al.* (2018) por sua vez, na pesquisa efetuada sobre as razões de atrasos em obras na China, explicam que os atrasos geralmente se originam no proprietário, no

empreiteiro ou em terceiros. Entre as causas que se originam no proprietário estão: as variações ou mudanças de escopo, as quantidades dos serviços imprecisas e a tomada de decisão lenta. Entre as causas que se originam no empreiteiro, estão: o preço baixo ofertado e a falta de capital. Já entre as causas que originam em terceiros estão: as greves trabalhistas e as condições de solo imprevistas.

Já KHAIR *et al.* (2018) em seus estudos para reduzir atrasos em projetos de construção de estradas no Sudão, identificaram que entre as causas dos atrasos de responsabilidade atribuída ao empreiteiro estão: as dificuldades no financiamento da obra, ou seja, não possui recurso suficiente para execução, os problemas de fluxo de caixa e os erros durante a execução da obra. Entre as causas de responsabilidade atribuídas ao proprietário estão: o atraso no pagamento, a lentidão na tomada de decisão e a imposição de cronograma irreal. Já entre as causas de responsabilidade atribuída a outros fatores estão: condições climáticas, alterações de desenhos, burocracia estatal e escassez de material.

RACHID *et al.* (2019) por sua vez, no trabalho realizado acerca das causas de atrasos em projetos de construção na Argélia, identificaram que entre aquelas de responsabilidade atribuída ao proprietário, estão: a falta de habilidade no gerenciamento, atraso no pagamento, o início dos serviços sem os projetos (desenhos) completos e o atraso na disposição do canteiro. Entre as causas de responsabilidade atribuída ao empreiteiro, estão: planejamento ineficaz, má gestão e supervisão local e a qualificação e experiência inadequada. Já entre as causas atribuídas a outros fatores, estão: os pedidos de mudança lenta, a escassez de trabalhadores qualificados e a falta de comunicação e coordenação entre o consultor e outras partes.

Já entre as causas de atrasos em obras públicas na Arábia Saudita, ALSULIMAN (2019) no seu trabalho identificou: a baixa capacidade financeira e técnica dos contratados, a concessão, pelo proprietário, de projetos a empreiteiros acima de seu potencial financeiro e técnico, a seleção de empreiteiro com preço baixo, pedidos de alteração pelo proprietário durante a execução da obra, falta de precisão nos estudos das quantidades, especificações e projetos (desenhos) pelo proprietário e subcontratação pelo empreiteiro de empresas não qualificadas.

No trabalho realizado acerca dos fatores que causam atrasos em projetos de construção no Afeganistão, QAYTMAS (2020) identificou que, entre as causas de responsabilidade atribuídas ao proprietário, estão: os excessos de pedidos de alteração e a lentidão nas tomadas de decisão. Entre as causas de responsabilidade atribuída ao

empreiteiro, estão: o preço baixo, a falta de planejamento e os problemas financeiros. Já entre as causas referentes a outras razões, estão: as condições climáticas, os erros ou as alterações de desenhos e a falta de mão de obra qualificada.

Nota-se que várias causas contribuem para a ocorrência de atraso em obras, podendo a origem estar no contratante, no contratado ou em terceiros, podendo ainda ocorrer de forma isolada ou combinada, de modo que classificação desses atrasos se torna imprescindível.

2.1.6 - Classificação dos atrasos

Os atrasos de obras, ocasionados por uma ou mais causas, sucedidas em série ou não, ou ainda, de responsabilidade variada pela sua ocorrência, gera a necessidade de sua classificação.

Os atrasos podem ser: compensáveis, desculpáveis e não desculpáveis, onde os atrasos são considerados compensáveis quando as causas são atribuídas ao contratante, podendo o contratado ser compensado em forma de prazo para concluir a obra ou compensado financeiramente pelos custos oriundos do atraso. Já os atrasos desculpáveis são aqueles em que as causas não são de responsabilidade nem do contratante e nem do contratado, e os atrasos não desculpáveis, são aqueles em as causas são atribuídas ao contratado (KRAIEM e DIEKMANN, 1987).

Para MAJID (1997) os atrasos podem ser: desculpáveis com compensação; desculpáveis sem compensação e não desculpáveis, e explica que, os atrasos desculpáveis com compensação são aqueles em que as causas são originadas pelo contratante, impactando o prazo de execução, gerando custos não previstos para o contratado, sendo esses custos compensados financeiramente pelo contratante, enquanto que os atrasos desculpáveis sem compensação são aqueles em que as causas não são originadas nem pelo contratante e nem pelo contratado, de forma que os custos não previstos oriundos do atraso para o contratado não são compensados financeiramente pelo contratante, no entanto pode ocorrer apenas uma compensação de prazo. Já os atrasos não desculpáveis são aqueles em que as causas são de responsabilidade do contratado.

ARIF e MORAD (2014) por sua vez, explicam que os atrasos também podem ser simultâneos, que é a circunstância onde dois ou mais atrasos ocorrem de forma concomitante, sendo que a ocorrência de qualquer um, já atrasaria o projeto.

Já TRAUNER *et al.* (2017), classificaram os atrasos em: críticos ou não críticos; desculpáveis ou não desculpáveis; compensáveis ou não compensáveis; e concorrentes ou não concorrentes e explica que todo projeto de construção possui atividades críticas, e os atrasos referentes à essas atividades, podem ser críticos ou não críticos, de forma que se impactarem a data de conclusão de um projeto, serão considerados críticos, se não impactarem, serão considerados não críticos. Já os atrasos desculpáveis são aqueles que ocorrem em virtude de causas que estão além do controle do contratado, enquanto que os atrasos não desculpáveis são aqueles que ocorrem em virtude de causas que estão sob o controle do contratado. Os atrasos compensáveis são aqueles em que o contratado tem direito a prorrogação de prazo e restituição financeira, enquanto que os atrasos não compensáveis o contratado não possui direito decorrente do atraso. Por fim, os atrasos concorrentes são aqueles em que as causas são distintas e ocorrem simultaneamente no caminho crítico, enquanto que os atrasos não concorrentes são aqueles em que as causas são distintas, porém não ocorrem ao mesmo tempo.

Nota-se nessa classificação de atrasos, a variedade existente, todavia não minimiza os efeitos negativos que as causas dos atrasos da obra produzem nos futuros beneficiários.

2.1.7 - Efeitos do atraso da obra

Quando uma obra é concluída e colocada à disposição da sociedade para utilização, tal obra alcança a sua finalidade para a qual foi projetada, no entanto o atraso da sua conclusão provoca efeitos negativos.

COLPO *et al.* (2018) explicam que o atraso que ocorre nas obras é prejudicial tanto para a empresa contratada quanto para o contratante, e no caso de obras públicas, a sociedade é impactada de forma negativa pelo atraso na utilização dos benefícios advindos da obra.

Já a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2018) afirma que os atrasos que ocorrem na execução de obras públicas são danosos para a sociedade, pois os seus efeitos não se limitam apenas à indisponibilidade de sua utilização, mas também impacta a economia local e a nacional, refletindo sobre o Produto Interno Bruto – PIB.

Para ARAGÃO FILHO (2014) o benefício proporcionado pela obra pública geralmente não é associado exatamente ao custo efetivo da sua construção, e, na

ocorrência de atraso na conclusão da referida obra, o custo social desse atraso também não é avaliado.

Desta forma, nota-se que o benefício social oriundo da disponibilidade de uso da obra pública e o impacto social negativo causado pela indisponibilidade de sua utilização decorrente dos atrasos, não são mensurados em termos financeiros.

Neste cenário, onde as causas dos atrasos são incertas e subjetivas, podendo ter origem no contratante, no contratado ou em terceiros, é essencial que a administração pública se antecipe quanto às suas ocorrências, ou seja, prevendo, e, a lógica *fuzzy*, se mostra como um caminho para obtenção dessa previsão, auxiliando assim no gerenciamento das obras públicas.

2.2 - A LÓGICA *FUZZY* E OS SEUS CONJUNTOS

De acordo com BHATT e MACWAN (2016) a lógica difusa foi introduzida por Lofti Asker Zadeh em 1965, onde o emprego dessa lógica auxilia na caracterização e mensuração do valor do comportamento por meio da função de adesão dos critérios, sendo que cada conjunto *fuzzy* carrega um nível de pertencimento que varia de 0 a 1, ou seja, de não adesão a adesão completa, contrastando desta forma, com os conjuntos binários, onde um elemento só pode ser ou não ser parte do conjunto.

Nesse mesmo sentido GAYER (2017) explica que nos conjuntos binários, um dado elemento, de forma definida, pode pertencer ou não a um conjunto, ou seja, assume o valor 0 ou 1, enquanto que na teoria dos conjuntos *fuzzy*, esse mesmo elemento possui uma pertinência ao mesmo conjunto, compreendida no intervalo de 0 a 1.

Por sua vez, CHEN e PHAM (2019) explicam que na teoria clássica dos conjuntos existe um limite notadamente estabelecido para indicar se um elemento pertence ou não a um conjunto, ou seja, não há como um elemento, pertencer e não pertencer de forma simultânea a um conjunto, entretanto na teoria dos conjuntos *fuzzy* não existe um limite estabelecido para indicar se um elemento pertence ou não a um conjunto, ou seja, um elemento pode, parcialmente, pertencer a um conjunto como também pode, parcialmente, não pertencer a esse conjunto.

Já ROSS (2017) afirma que em uma relação nítida, há somente dois graus de conexão entre os elementos dos seus conjuntos, que são os **completamente conexos** e os **não conexos**, e, as relações *fuzzy*, permitem a conexão entre os elementos de dois ou

mais conjuntos para receber uma infinidade de graus de conexão existentes entre os limites de **completamente conexos** e os **não conexos**. O mesmo autor explica que na lógica binária os conjuntos clássicos possuem elementos que atendem as propriedades de associação, onde um elemento x no universo X pertence ou não a um determinado conjunto A , representado por meio do numeral 1, caso o elemento pertença, e, por meio do numeral 0, caso o elemento não pertença, podendo ainda ser representada pela Eq. (2.2):

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (2.2)$$

Enquanto que na lógica difusa, os conjuntos difusos possuem elementos que atendem as propriedades imprecisas de associação, e, diferente dos conjuntos clássicos que possuem uma associação única, os conjuntos difusos possuem uma quantidade infinita de associações, sendo a pertinência dos elementos de um conjunto *fuzzy* A em um universo de discurso X indicada por uma função de pertinência μ_A , podendo assumir qualquer valor compreendido no intervalo $[0,1]$, conforme se observa na Eq. (2.3).

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (2.3)$$

Desta forma, observa-se que na lógica binária há apenas duas opções de pertencimento, enquanto que na lógica *fuzzy* há uma variedade delas.

Na Figura 2.4 é possível visualizar a comparação entre a lógica clássica, onde a transição de uma definição para outra não possui intervalos, e a lógica *fuzzy*, onde a transição de uma definição para outra possui intervalos.

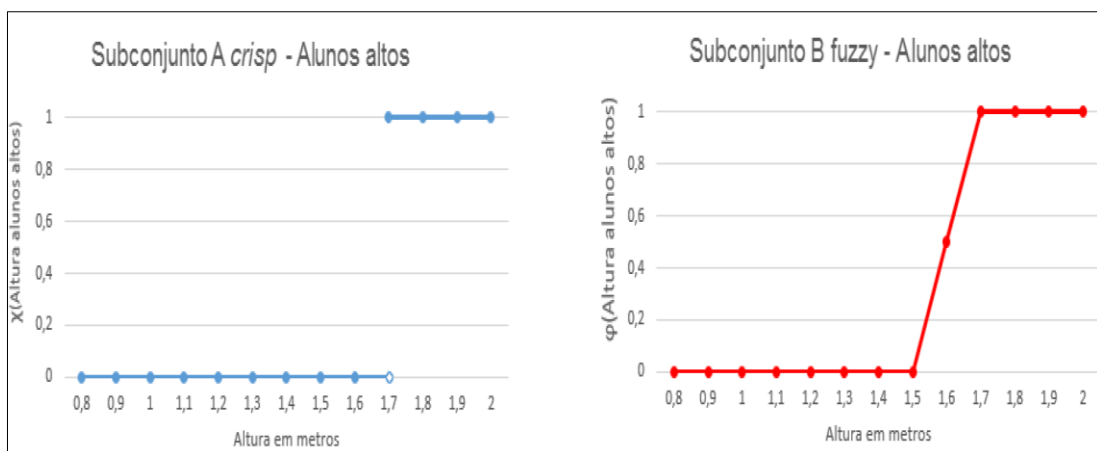


Figura 2.4 - Comparação entre a lógica clássica e a lógica *fuzzy*.
Fonte: GAYER (2017).

Nessa Figura se observa que, na lógica binária, a pessoa é alta ou baixa, ou seja, somente uma dessas opções, já na lógica *fuzzy*, ela pode ser de altura média, ou seja, uma altura compreendida no intervalo existente entre alta e baixa.

Na lógica *fuzzy* ou lógica nebulosa é oferecido o recurso de interpretar, em valores numéricos, as expressões linguísticas, onde cada expressão é traduzida como um subconjunto *fuzzy* compreendido no intervalo de 0 a 1, enquanto que na lógica binária o valor só pode assumir um dos dois valores (GAVIÃO e LIMA, 2015).

Já ABDELGAWAD e FAYEK (2010) afirmam que a lógica *fuzzy* é própria para trabalhar com eventos, onde as avaliações são efetuadas em termos linguísticos e subjetivos, que são as variáveis linguísticas.

2.2.1 - As variáveis linguísticas

Na lógica *fuzzy*, os valores não são representados por meio de numerais, mas por meios de expressões linguísticas.

Acerca disso VIEIRA (2018) define variável linguística como sendo “uma variável cujos valores são conjuntos de termos, terminologias, nomes ou rótulos, ao invés de números” (VIEIRA, 2018).

Já PINTO (2019) define variável linguística como sendo “uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial”.

Essas expressões linguísticas, representam a incerteza de um valor, pois podem ser utilizadas as expressões como médio, alto, baixo, mediano, medianamente baixo, medianamente alto, pouco, muito, entre outras.

Por sua vez VIEIRA (2018) explica que os valores de uma variável linguística além de serem representados por expressões podem ser combinados pelos conectivos lógicos, que são: **e**, **ou**, e o **não**.

Na Figura 2.5 é possível visualizar um exemplo de uma variável linguística, que no caso é a temperatura, que possui os valores baixa, média e alta.

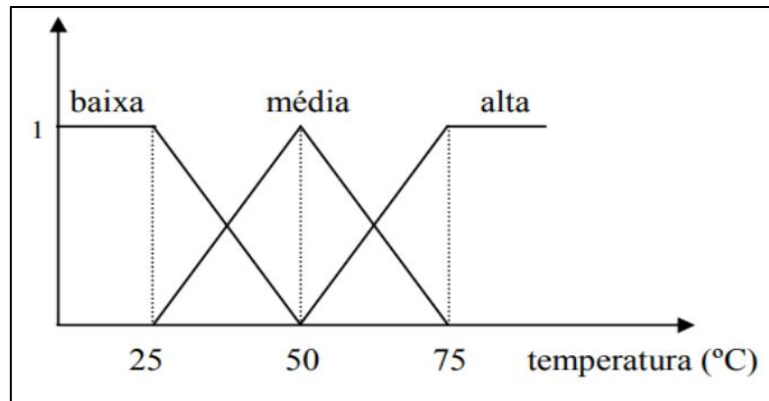


Figura 2.5 - Variável linguística temperatura.
Fonte: Vieira (2018).

Nota-se assim que, na lógica *fuzzy*, as variáveis linguísticas são imprescindíveis, pois as mesmas permitem a identificação do grau de veracidade nelas existente bem como a sua interpretação em um modelo matemático, ou seja, por meio das funções de pertinência *fuzzy*, a informação linguística é convertida em um número.

2.2.2 - Funções e graus de pertinência *fuzzy*

O grau de pertencimento de um determinado dado a um determinado conjunto é obtido pela função de pertinência. Essa função mostra, o quanto esse dado pertence ao conjunto, onde esse grau está compreendido no intervalo de 0 a 1, ou seja, quanto mais próximo de 1, maior será o grau de pertencimento, e, quanto mais próximo de 0, menor será o grau de pertencimento.

Acerca disso SIMÕES e SHAW (2007), explicam que as funções de pertinência demonstram as características importantes dos atos teóricos e práticos dos sistemas *fuzzy*, que imputa valores de pertinência *fuzzy* para valores discretos de uma variável em seu universo de discurso.

Essas funções de pertinência possuem uma variedade de formatos, podendo ser triangular, trapezoidal, gaussiana, sigmoidal, entre outras (LIMA, 2016).

Na Figura 2.6 é apresentado um exemplo de uma função de pertinência *fuzzy*, de formato triangular.

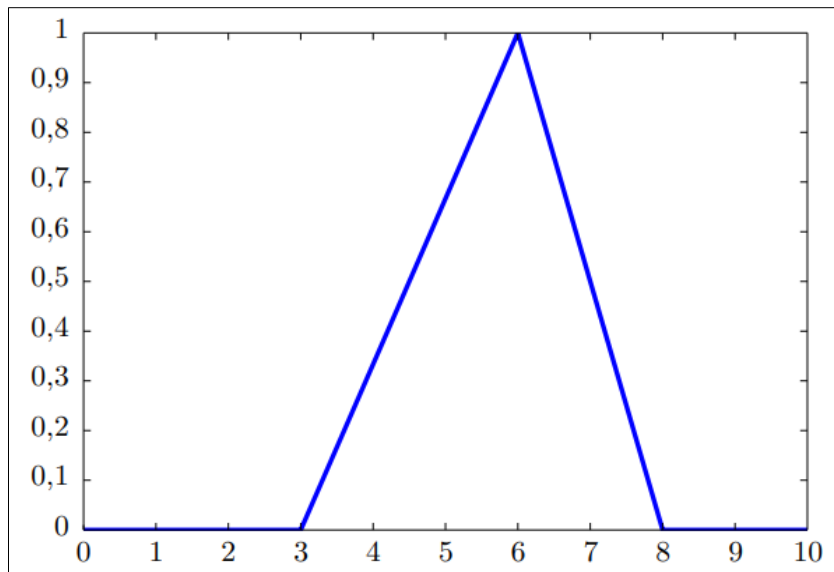


Figura 2.6 - Função de pertinência triangular.
 Fonte: LIMA (2016).

Na Figura 2.7 é apresentado um exemplo de uma função de pertinência *fuzzy*, de formato trapezoidal.

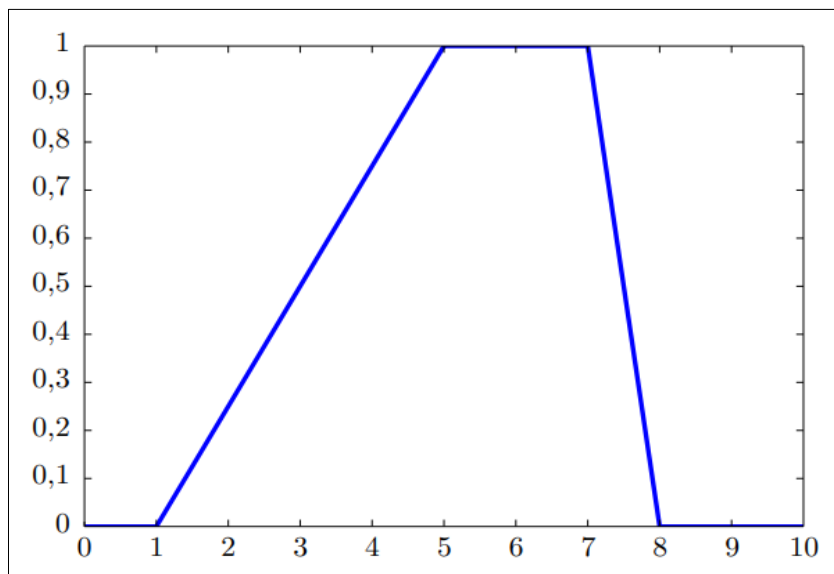


Figura 2.7 - Função de pertinência trapezoidal.
 Fonte: LIMA (2016).

Na Figura 2.8 é apresentado um exemplo de uma função de pertinência *fuzzy*, de formato gaussiana.

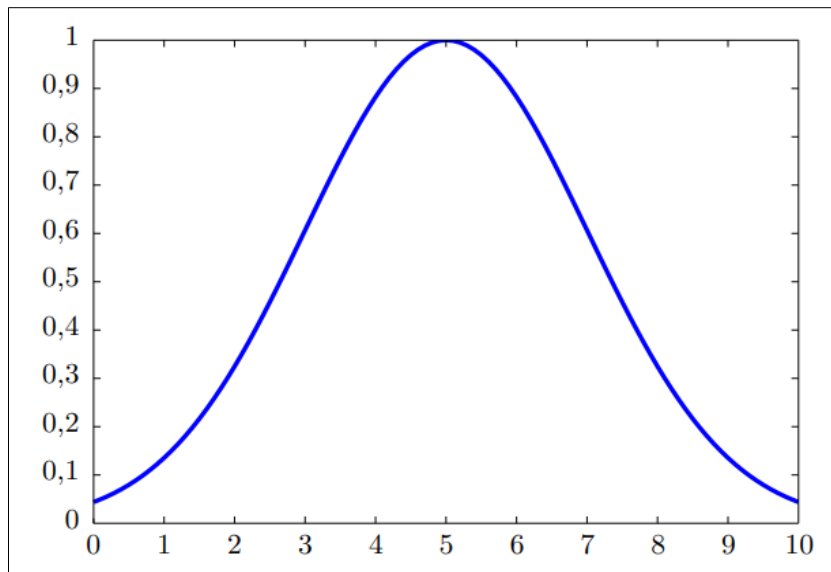


Figura 2.8 - Função de pertinência gaussiana.
Fonte: LIMA (2016).

Conforme REZENDE (2005) a condução do comportamento do sistema *fuzzy* depende da fixação das propriedades sintáticas e semânticas das variáveis linguísticas, pois essas propriedades ao estabelecerem a forma em que as informações linguísticas *fuzzy* são guardadas, geram uma base de conhecimento, com sentenças ordenadas, organizando os métodos de armazenamento, rastreamento e tratamento dos dados existentes.

2.2.3 - Sistemas de inferência *fuzzy*

O sistema de inferência *fuzzy* pode ser compreendido como o emprego da lógica *fuzzy* na realização do mapeamento de um determinado dado, considerado como entrada, para uma determinada saída, sendo um processo composto essencialmente pela fuzzificação, regras de produção e inferência e a defuzzificação (ARESE, 2018).

Acerca disso, PINTO (2019) explica que um sistema de inferência *fuzzy* trabalha com dados dúbios e incertos, onde esses dados de entrada são convertidos em um conjunto *fuzzy* e submetido à ação das regras estabelecidas, permitindo a obtenção do grau de pertinência, compreendido no intervalo de 0 a 1, de cada dado, e, seguidamente a obtenção da resposta *fuzzy* do sistema, que é transformada em um número real.

Esse modelo baseado em regras *fuzzy* constitui-se de três estágios essenciais, que são: a fuzzificação, a inferência *fuzzy* e a defuzzificação (YEHEYIS, 2016). A Figura 2.9 é um exemplo de um sistema de inferência *fuzzy*.



Figura 2.9 - Sistema de inferência *fuzzy*.
 Fonte: ARESE (2018).

2.2.3.1 - Fuzzificação

Uma das etapas que compõem um sistema de inferência é a conversão de valores numéricos de entrada em um conjunto *fuzzy*, que é a fuzzificação.

Acerca disso SIMÕES e SHAW (2007) explicam que “é um mapeamento do domínio de números reais para o domínio *fuzzy*”, que por meio das funções de pertinência estabelecidas para as variáveis de entrada, se identifica a existência de atribuições de valores linguísticos, descrições imprecisas ou qualitativas, sendo considerado também um pré-processamento que diminui consideravelmente a quantidade de valores a serem analisados.

Por sua vez, YEHEYIS (2016) explica que a fuzzificação consiste na metodologia de transição dos valores nítidos em graus de combinação para termos linguísticos de conjunto *fuzzy*.

Já ROSS (2017) afirma que a fuzzificação consiste em transformar uma quantidade nítida em uma quantidade *fuzzy*, ou seja, transforma em graus de pertinência.

2.2.3.2 - As regras de inferência *fuzzy*

Nessa etapa define-se uma regra para cada situação descrita pelas variáveis linguísticas utilizadas, ou seja, uma regra para cada combinação entre as variáveis,

sendo que quanto maior for essa quantidade de variáveis, maior será a quantidade de regras.

Acerca disso ZIMMERMANN (2001) afirma que as regras de inferência são os métodos mais empregados para traduzir o conhecimento em um sistema especialista, e, usualmente essas regras tem a seguinte forma: "Se um conjunto de condições for satisfeito, um conjunto de consequências pode ser produzido".

Para REZENDE (2005) as regras de inferência são a forma mais simples de guardar informações em uma base de conhecimento *fuzzy*, que comumente é composta por duas partes: *if* (se) e o *then* (então), que são o antecedente e o consequente respectivamente.

Já ROSS (2017) explica que a forma *if(se)-then(então)* é usualmente descrita como uma forma dedutiva, pois se uma premissa é conhecida, então é possível deduzir a sua conclusão, sendo conveniente no contexto da linguística, em virtude da manifestação, em expressão própria de comunicação, do conhecimento empírico e heurístico humano.

2.2.3.3 - A inferência *fuzzy*

A inferência *fuzzy* consiste em manipular os dados *fuzzy* de entrada simultaneamente com as regras de inferência estabelecidas, permitindo gerar proposições, que são oriundas da relação entre as variáveis do modelo e a região *fuzzy* (HORTEGAL, 2016).

Para YEHEYIS (2016) a etapa da inferência *fuzzy* é utilização da lógica *fuzzy* na estruturação de entradas e saídas.

Para GAYER (2017), nessa etapa, as regras estabelecidas e empregadas para as entradas do problema são traduzidas matematicamente, gerando posteriormente um conjunto *fuzzy* como resposta.

2.2.3.4 - Defuzzificação

A resposta gerada pelo Sistema de Inferência *Fuzzy* é um valor *fuzzy* que necessita passar pelo processo de defuzzificação.

Conforme ROSS (2017), esse processo de defuzzificação consiste em transformar uma quantidade *fuzzy* em uma quantidade nítida, ou seja, em um valor numérico, que corresponde à resposta do sistema.

Já para GAYER (2017), a defuzzificação mostra o conjunto *fuzzy* por meio um número real que melhor reflete a resposta do sistema.

De acordo com ELBARKOUKY *et al.* (2016) vários métodos de defuzzificação podem ser utilizados, que entre os quais estão: o Centro da Área (COA), Média dos Máximos (MOM), Mínimo dos Máximos (SOM) e Máximo dos Máximos (LOM).

2.2.4 - Os modelos de inferência *fuzzy*

Conforme CORREIA (2016) a lógica *fuzzy* pode ser empregada em diversas áreas do conhecimento, tais como: administração, tecnologia, economia, psicologia, medicina, engenharia, entre outras.

Para se conseguir um processo superior na resolução do problema, é essencial que o tipo de problema seja um dos parâmetros para a escolha do modelo de inferência a ser utilizado na solução do referido problema (NACIF JUNIOR, 2018).

Dentre os modelos clássicos de inferência, os mais conhecidos são: o Mamdani, Larsen, Tsukamoto e o Takagi-Sugeno (PORTO, 2019).

Desta forma nota-se que a lógica *fuzzy* possibilita a realização de análises de estudos para a obtenção de soluções para os problemas existentes, auxiliando na tomada de decisão.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 - DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa deste trabalho em relação à sua natureza se mostra do tipo aplicada, pois as informações produzidas, ou seja, os resultados obtidos, servirão de parâmetros para tomada de decisão.

Já quanto à sua abordagem, a pesquisa se mostra qualitativa, pois a importância dos dados obtidos é subjetiva.

Concernente aos seus objetivos, a pesquisa se mostra do tipo explicativa, uma vez que se pretende identificar as variáveis que contribuem para ocorrência dos atrasos das obras e as suas relações.

Em relação aos seus procedimentos técnicos, a pesquisa se mostra do tipo bibliográfica e documental, pois é necessária a consulta de estudos já publicados sobre a lógica *fuzzy* e sobre atraso de obras públicas, e ainda, a consulta de documentos públicos de obras já concluídas tais como: projetos básicos, processos licitatórios, dispensas de licitação, projetos executivos, termos de contrato, termos aditivos e processos de pagamento.

3.2 - CARACTERIZAÇÃO E DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa em tela trata-se de um estudo de caso de obras públicas construídas na cidade de Manaus que foram licitadas por uma secretaria da prefeitura municipal, sendo essas obras realizadas nas condições de céu aberto, ou seja, ao ar livre.

Essas obras tiveram valores de contratos de até R\$ 5.000.000,00 (cinco milhões de reais), que foram iniciadas e concluídas entre 2013 e 2019.

Na Figura 3.1 é possível visualizar o delineamento desta pesquisa.

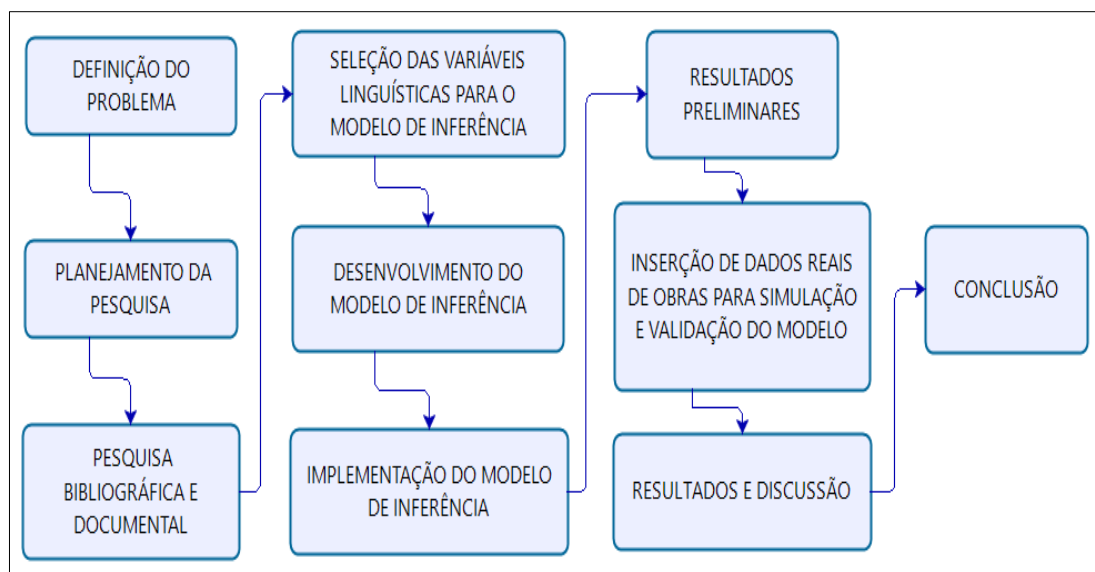


Figura 3.1 - Delineamento da pesquisa.

Desta forma, o problema objeto desta pesquisa é criação de um modelo de previsão de risco de atraso na execução de obras públicas, empregando a metodologia *fuzzy*.

3.3 - ANÁLISE DOS PROCESSOS ADMINISTRATIVOS DAS OBRAS PÚBLICAS

Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente serão analisados os documentos dos processos de contratação das obras bem como os documentos pertinentes às suas execuções.

Em relação aos processos de contratação, serão analisados os documentos constituintes dos projetos básicos, ou seja, serão analisados os desenhos, as planilhas de orçamento e os cronogramas físico-financeiro.

Na análise dos desenhos, serão verificados se os mesmos estão completos ou incompletos. Serão considerados completos, se todas as peças gráficas essenciais para a execução da obra estiverem elaboradas, caso contrário serão considerados incompletos, ainda que as suas elaborações ocorram durante a execução da obra.

Na análise das planilhas de orçamentos serão verificados os valores orçados pela administração pública e os valores das propostas das empresas contratadas.

Já na análise dos cronogramas físico-financeiro serão verificados os prazos previstos das obras contratadas e os cronogramas físico-financeiro apresentados pelas empresas contratadas.

Em relação aos processos de execução, serão analisados os contratos firmados, as ordens de serviço, as planilhas de medição das empresas contratadas, os diários de obras e a existência de solicitações de prorrogação de prazo.

Finalizada a análise inicial dos processos de contratação e execução das obras, serão realizadas as identificações das causas dos atrasos das obras, sendo posteriormente efetuadas as suas classificações.

3.4 - CRIAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY*

Uma vez classificadas essas causas dos atrasos das obras, serão selecionadas aquelas mais significativas que irão compor as variáveis linguísticas de entrada do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Após a seleção das variáveis linguísticas de entrada, serão definidos os seus universos de discurso (*range*), os seus valores linguísticos, os seus valores numéricos e as suas funções de pertinência, tanto das variáveis linguísticas de entrada quanto da variável linguística de saída.

Posteriormente, serão elaboradas as regras de inferência, que também serão em quantidade correspondente ao produto entre o número de variáveis linguísticas de entrada e o número de valores linguísticos de cada variável linguística de entrada. Também serão escolhidos o modelo de inferência e o método de defuzzificação que serão utilizados.

Finalizada as etapas anteriores, as informações obtidas serão inseridas no *Fuzzy Logic Design* do *software* Matlab R2020b, que permitirá a obtenção de um resultado prévio do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

3.5 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY* PROPOSTO

Após a concepção do sistema de inferência *fuzzy*, será realizada a sua validação, ou seja, serão inseridos dados reais de obras que foram contratadas e executadas.

Ainda no processo de validação será inserido dados hipotéticos para algumas dessas variáveis linguísticas de entrada, afim de verificar o funcionamento do sistema.

3.6 - ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA

Após a geração das respostas, as mesmas serão comparadas com os documentos pertinentes às obras, objetivando verificar se essas respostas refletem a realidade dos fatos ocorridos nas respectivas obras.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE ATRASOS DAS OBRAS PÚBLICAS

Na análise efetuada na documentação de contratação e execução das obras, foram identificados atrasos oriundos de várias causas, que em virtude da variedade destas, foram separadas nas seguintes categorias:

- **Financeiro**, que compreendeu os aspectos relacionados aos recursos financeiros, tanto do contratante quanto do contratado;
- **Projeto e Orçamento**, que compreendeu os aspectos relacionados à identificação dos serviços necessários, os seus quantitativos e os projetos de engenharia (desenhos);
- **Clima**, que compreendeu as questões relacionadas às condições climáticas;
- **Órgãos Públicos**, que compreendeu a toda manifestação de qualquer órgão público, empresas públicas ou concessionárias dos serviços públicos, considerada como essencial para que a obra ocorresse;
- **Gerenciamento e Execução**, que compreendeu os assuntos pertinentes à consecução da obra tanto por parte do contratante quanto do contratado; e
- **Outros fatores**, que compreenderam aos assuntos distintos dos outros citados acima.

Na categoria **financeiro**, foram identificadas as seguintes causas: atraso do pagamento pelo contratante, o preço baixo do empreiteiro para executar a obra e capacidade financeira do contratado em relação ao valor da obra.

Na categoria **projeto e orçamento**, foram identificadas as seguintes causas: quantidades de serviços imprecisas, projetos de engenharia (desenhos) incompletos na etapa da licitação, alterações dos projetos executivos e acréscimos de novos serviços.

Na categoria **clima**, foram identificadas somente as ocorrências de chuvas, como causas para o atraso.

Na categoria **órgãos públicos**, foram identificadas as seguintes causas: atraso na interrupção do trânsito na via do local da obra e lentidão na aprovação de projetos pelas empresas concessionárias dos serviços públicos.

Na categoria **gerenciamento e execução**, foram identificadas as seguintes causas: a lentidão na tomada de decisão pelo contratante, a suspensão da execução da obra pelo contratante, retrabalho e a baixa produtividade do contratado.

Por fim, na categoria **outros fatores**, foram identificadas as seguintes causas: a falta de material no comércio local e as condições imprevistas de subsolo.

4.2 - SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

Uma vez classificadas as causas que contribuíram para a ocorrência do descumprimento do prazo de execução das obras, selecionaram-se aquelas consideradas como mais significativas para compor as variáveis linguísticas de entrada do sistema de inferência.

Quanto ao aspecto **financeiro** foram selecionadas as seguintes causas: o preço baixo do empreiteiro para executar a obra e a capacidade financeira do contratado em relação ao valor da obra.

A causa **preço baixo do empreiteiro para executar a obra**, foi representada neste trabalho pela variável linguística **Fator de Contratação**, que se referiu ao percentual de desconto dado pelo empreiteiro no preço da obra, que correspondeu ao quociente entre o valor contratado e o valor orçado pela administração, de forma que, quanto menor fosse esse fator, maior seria o desconto, logo, menor seria o preço.

Essa variável se mostrou importante, uma vez que, para a sua composição de preço, envolveu o emprego de mão de obra, equipamentos e insumos na produção dos serviços contratados.

Já a causa **capacidade financeira do contratado em relação ao valor da obra**, referiu-se à dificuldade financeira do contratado para executar a obra em virtude do seu valor contratado, sendo essa causa representada pela variável linguística **Valor da Obra**.

Essa variável também se mostrou importante, pois quanto maior fosse o valor da obra, maiores seriam os recursos financeiros que o contratado teria que dispor para a execução das etapas programadas, caso não possuísse esses recursos, as etapas dos serviços poderiam ser interrompidas ou atrasadas.

Com relação ao aspecto **projeto e orçamento**, foram selecionadas as seguintes causas: os projetos de engenharia (desenhos) incompletos e as quantidades de serviços imprecisas.

A causa **projetos de engenharia (desenhos) incompletos** mostrou a necessidade de elaboração de projetos para a conclusão da obra, uma vez que os mesmos não foram elaborados na sua totalidade na etapa de planejamento, ou seja, na elaboração do projeto básico, sendo que foi necessária sua elaboração durante a execução da obra.

Neste trabalho essa causa foi representada pela variável linguística **Projeto Executivo**, que, de forma semelhante às outras variáveis, se mostrou importante, pois os projetos além de terem representados graficamente a construção, serviram como orientação para equipe na realização dos serviços, e, a sua elaboração durante a execução da obra, comprometeu o cronograma de execução anteriormente previsto.

Já a causa **quantidades de serviços imprecisas**, correspondeu às quantidades dos serviços que foram orçadas em quantidades menores em relação ao que realmente era necessário.

Essa causa foi representada pela variável linguística **Alteração de Quantidades**, que por sua vez se mostrou importante, pois os serviços detalhados nos projetos executivos necessitavam que fossem executados nas quantidades neles descritas, no entanto ocorreu que a planilha orçamentária não refletiu essa quantidade necessária, mas uma quantidade menor, sendo que foi necessário acrescentar novos serviços e acrescentar quantidades nos serviços já existentes, sendo que esses acréscimos comprometeram o prazo originalmente previsto.

No tocante ao aspecto **órgãos públicos**, as causas selecionadas foram: **atraso na interrupção do trânsito na via do local da obra e lentidão na aprovação de projetos pelas empresas concessionárias dos serviços públicos**.

Essa causa identificou a necessidade de autorização ou apoio de órgãos públicos, de empresas públicas ou concessionárias dos serviços públicos para que a obra pudesse ser executada, sendo que essa variável foi representada pela variável linguística **Autorização de Órgãos Públicos**.

Essa variável se mostrou importante, pois quando os serviços necessitaram de autorização ou apoio de um dos órgãos públicos, a resposta não foi tempestiva, comprometendo o prazo programado.

Já em relação ao aspecto **clima**, a causa selecionada foi a **chuva**. Acerca dessa causa foi considerada a ação da precipitação pluviométrica, compreendida no intervalo de tempo entre o mês que iniciou a obra e o mês previsto para a sua conclusão, sendo essa causa representada pela variável linguística **Chuva**.

Essa variável se mostrou importante, pois a ocorrência da precipitação pluviométrica, ou seja, chuva, durante a execução dos serviços, interrompeu o andamento dos mesmos, o que impactou o prazo de execução da obra.

Na Tabela 4.1 é possível verificar relação das variáveis linguísticas de entrada e saída que fizeram parte do modelo de inferência *fuzzy* proposto.

Tabela 4.1 - Variáveis linguísticas de entrada e saída.

Variáveis Linguísticas de Entrada
Fator de Contratação
Valor da Obra
Projeto Executivo
Alteração de quantidades
Autorização de Órgãos Públicos
Chuva
Variável Linguística de Saída
Previsão de Risco de Atraso

4.3 - DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

Após a seleção das variáveis linguísticas, realizou-se a tarefa de determinar as suas funções de pertinência bem como os seus intervalos numéricos.

A variável linguística de entrada **Fator de Contratação**, considerou-se tendo três valores linguísticos, que foram: baixo, médio e alto, onde o seu universo de discurso ou *range* variou de 0 a 100%, sendo considerado **baixo** o valor de até 80%, **médio** o valor entre 77,5% e 87,5% e **alto** o valor acima de 85%.

A variável linguística de entrada **Valor da Obra**, considerou-se também tendo três valores linguísticos, que foram: baixo, médio e alto, onde o universo de discurso ou *range* dessa variável linguística variou de R\$ 0,00 a R\$ 5.000.000,00, sendo considerado **baixo** o valor de até R\$ 750.000,00, **médio** o valor entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1.500.000,00 e **alto** o valor acima de R\$ 1.250.000,00.

Já a variável linguística de entrada **Projeto Executivo**, considerou-se tendo dois valores linguísticos, que foram: incompleto e completo, onde o seu universo de discurso ou *range* variou de 0 a 1,5, sendo considerado **incompleto** o valor de 0 a 1 e **completo** o valor de 0,5 a 1,5.

A variável linguística de entrada **Alteração de Quantidades**, considerou-se também tendo dois valores linguísticos, que foram: não altera e altera, onde o universo

de discurso ou *range* dessa variável variou de 0 a 1,5, sendo considerado **não altera** o valor de 0 a 1 e **altera** o valor de 0,5 a 1,5.

Já a variável linguística de entrada **Autorização de Órgãos Públicos**, considerou-se tendo três valores linguísticos, que foram: baixa, média e alta, onde o seu universo de discurso ou *range* variou de 0 a 6, sendo considerado **baixa** o valor de 0 a 2, **média** o valor de 1 a 3 e **alta** o valor de 2 a 6.

A variável linguística de entrada **Chuva**, considerou-se tendo três valores linguísticos, que foram: baixa incidência, média incidência e alta incidência, onde o universo de discurso ou *range* dessa variável variou de 0 a 12, sendo considerado **baixa incidência** o valor de 0 a 3, **média incidência** o valor de 2 a 6 e **alta incidência** o valor de 5 a 12.

Para a variável linguística de saída **Previsão de Risco de Atraso** considerou-se tendo cinco valores linguísticos, que foram: baixo, medianamente baixo, médio, medianamente alto e alto, onde o seu universo de discurso ou *range* variou de 0 a 100, sendo considerado **baixo** o valor de 0 a 20, **medianamente baixo** o valor de 20 a 40, **médio** o valor de 40 a 60, **medianamente alto** o valor de 60 a 80 e **alto** o valor acima 80.

A Tabela 4.2 mostra essas variáveis linguísticas com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

Tabela 4.2 - Variáveis linguísticas com os valores numéricos e linguísticos.

Variáveis Linguísticas de Entrada	Valor Linguístico	Valor Numérico	Funções de Pertinência
Fator de Contratação [0 a 100]	Baixo	Até 80%	[0 0 77,5 80]
	Médio	77,50% a 87,50%	[77,5 82,5 87,5]
	Alto	85% a 100%	[85 87,5 100 100]
Valor da Obra [0 a 5E ⁶]	Baixo	Até R\$ 750.000,00	[0 0 5,0E ⁵ 7,5E ⁵]
	Médio	Entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1.500.000,00	[0 5,0E ⁵ 1,0E ⁶ 1,50E ⁶]
	Alto	Entre R\$ 1.250.000,00 e R\$ 5.000.000,00	[1,25E ⁶ 1,50E ⁶ 5,0E ⁶ 5,0E ⁶]

Projeto Executivo [0 a 1,50]	Incompleto	Entre 0,00 e 1,00	[0 0 0,5 1]
	Completo	Entre 0,50 e 1,50	[0,5 1 1,5 1,5]
Alteração de Quantidades [0 a 1,50]	Não altera	Entre 0,00 e 1,00	[0 0 0,5 1]
	Altera	Entre 0,50 e 1,50	[0,5 1 1,5 1,5]
Autorização de Órgãos Públicos [0 a 6]	Baixa	Entre 0 e 2	[0 0 1 2]
	Média	Entre 1 e 3	[1 2 3]
	Alta	Entre 2 e 6	[2 3 6 6]
Chuva [0 a 12]	Baixa incidência	Entre 0 e 3	[0 0 2 3]
	Média incidência	Entre 2 e 6	[2 3 5 6]
	Alta incidência	Entre 5 e 12	[5 6 12 12]
Variável Linguística de Saída	Valor Linguístico	Valor numérico	Funções de Pertinência
Previsão de Risco de Atraso [0 a 100]	Baixo	Até 20	[0 0 10 20]
	Medianamente baixo	20 a 40	[20 30 40]
	Médio	40 a 60	[40 50 60]
	Medianamente alto	60 a 80	[60 70 80]
	Alto	80 a 100	[80 90 100 100]

4.4 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA *FUZZY*

Para a construção do modelo de inferência *fuzzy* proposto para esta pesquisa, foi utilizado o *Fuzzy Logic Design* do *software* Matlab R2020b. Nesse *software* foram inseridos os dados das variáveis linguísticas de entrada e saída.

A quantidade de regras de inferência empregadas no *software* corresponderam ao produto entre o número de funções de pertinência de cada variável linguística de entrada (3x3x2x2x3x3), que resultou em 324 regras, sendas as mesmas do tipo *if* (se)-

then (então) tendo o *e* como conectivo lógico. A Tabela 4.3 mostra os critérios empregados na construção do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Tabela 4.3 - Critérios do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Modelo do Sistema de Inferência		Mamdani	
Método <i>AND</i>		Mínimo	
Método <i>OR</i>		Máximo	
Implicação		Mínimo	
Agregação		Máximo	
Defuzzificação		Centróide ou Centro de Área	
Entradas	Fator de Contratação	Valores Linguísticos	Baixo
			Médio
			Alto
	Valor da Obra	Valores Linguísticos	Baixo
			Médio
			Alto
	Projeto Executivo	Valores Linguísticos	Incompleto
			Completo
	Alteração de Quantidades	Valores Linguísticos	Não altera
			Altera
	Autorização de Órgãos Públicos	Valores Linguísticos	Baixa
			Média
			Alta
	Chuva	Valores Linguísticos	Baixa incidência
			Média incidência
Alta incidência			
Saída	Previsão de Risco de Atraso	Baixo	
		Medianamente Baixo	
		Médio	
		Medianamente Alto	
		Alto	
Quantidade de regras		324	

Esses procedimentos permitiram a obtenção de um resultado prévio do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

4.5 - RESULTADO PRÉVIO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY PROPOSTO

O sistema de inferência *fuzzy* proposto foi elaborado considerando as variáveis linguísticas de entrada e saída com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência descritos na Tabela 4.2 e os critérios definidos na Tabela 4.3.

Na Figura 4.1 é possível visualizar a composição do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

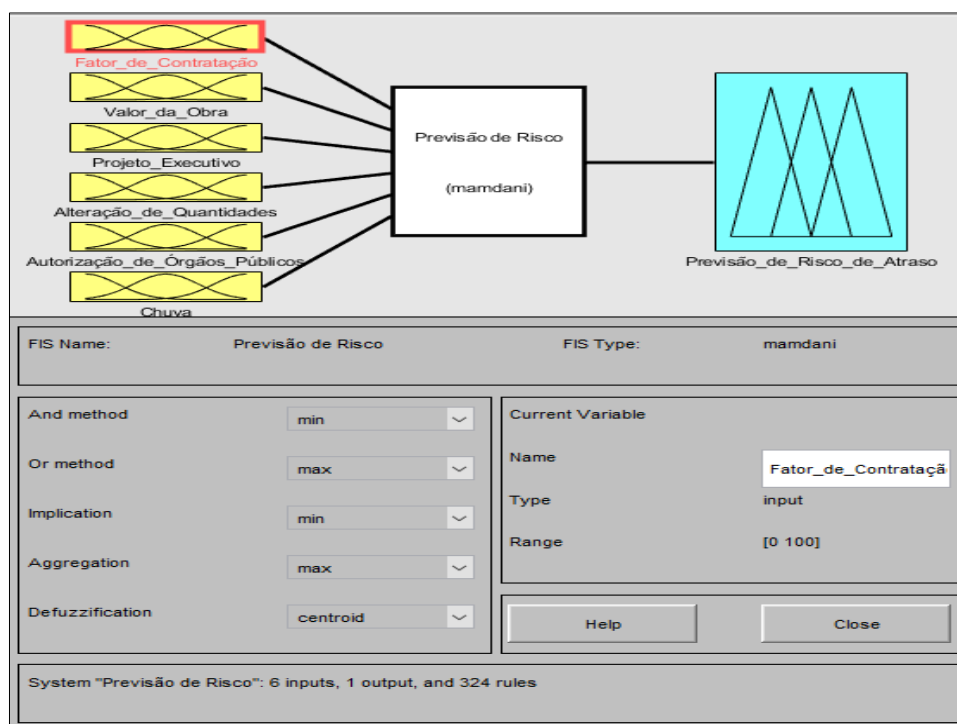


Figura 4.1 - Sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Nessa Figura é possível identificar as seis variáveis linguísticas de entrada e a única variável linguística de saída. Também é possível identificar o modelo de inferência *fuzzy* utilizado, que foi o Mamdani, e ainda, o método de defuzzificação, que foi o centroide ou centro de área.

Já na Figura 4.2 é possível visualizar a variável linguística de entrada **Fator de Contratação** com os seus valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

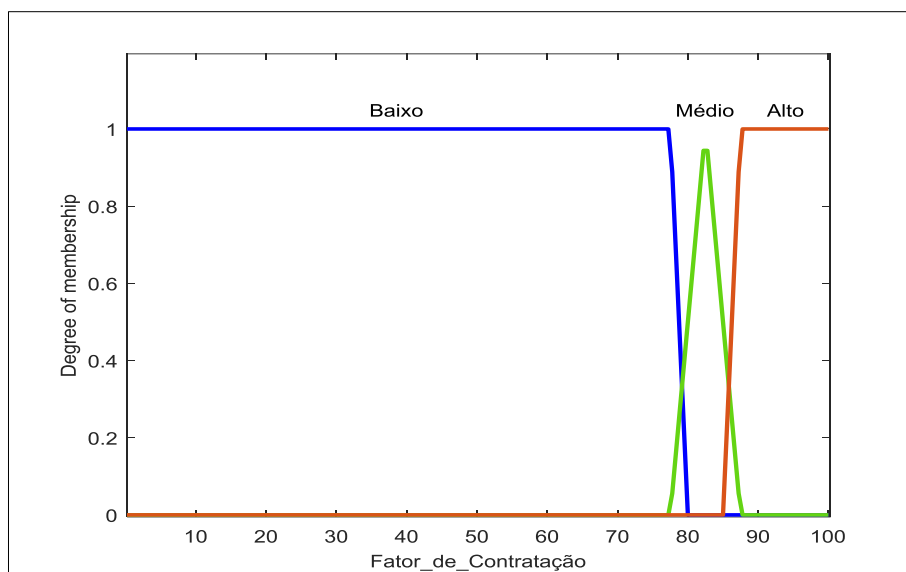


Figura 4.2 - Variável linguística fator de contratação.

Nessa Figura visualiza-se que os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos **baixo** e **alto** são trapezoidais, enquanto que o do valor linguístico **médio** é triangular. Também é possível ver que no intervalo de 0 a 80 o valor linguístico é considerado **baixo**, no intervalo de 77,5 a 87,5 é considerado **médio** e acima de 85 é considerado **alto**.

Na Figura 4.3 pode-se visualizar a variável linguística de entrada **Valor da Obra**, que da mesma forma, está com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

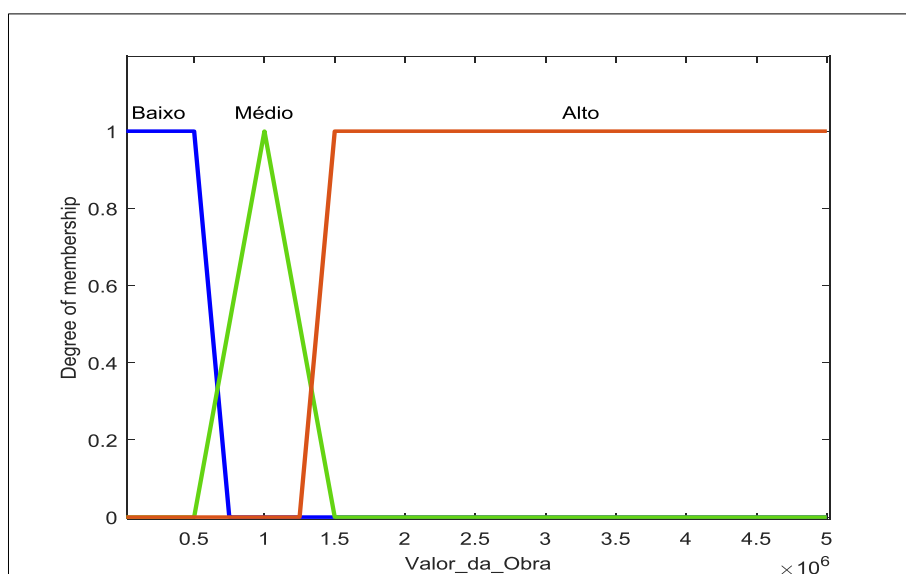


Figura 4.3 - Variável linguística valor da obra.

Nessa Figura é possível visualizar que os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos **baixo** e **alto** são trapezoidais, enquanto que o do valor linguístico **médio** é triangular, sendo possível interpretar que, no intervalo de 0 a $0,75 \times 10^6$ o valor linguístico é considerado **baixo**, no intervalo de $0,5 \times 10^6$ a $1,5 \times 10^6$ é considerado **médio** e acima de $1,25 \times 10^6$ é considerado **alto**.

Na Figura 4.4 visualiza-se a variável linguística de entrada **Projeto Executivo**, com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

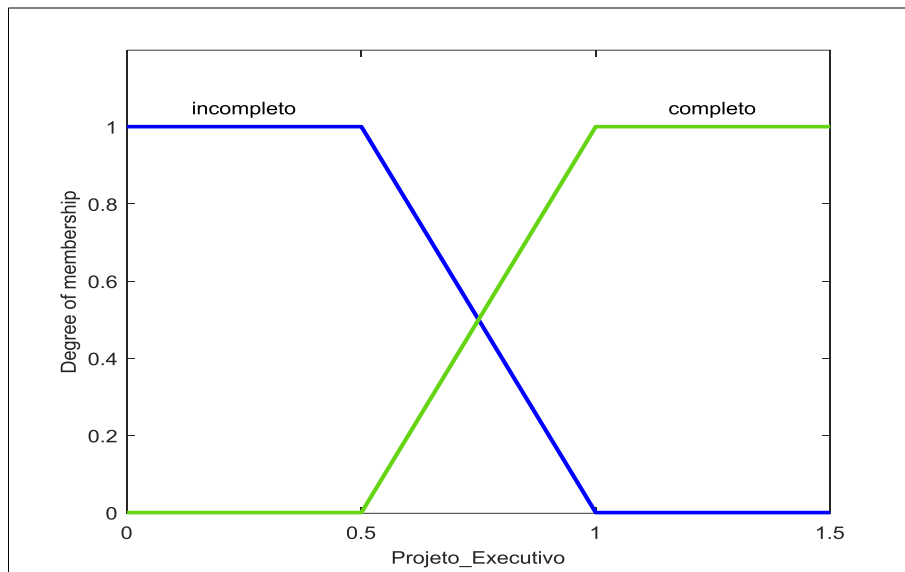


Figura 4.4 - Variável linguística projeto executivo.

Nessa Figura os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos são trapezoidais, de forma que é possível identificar que no intervalo de 0 a 1 o valor linguístico é definido como **incompleto** e no intervalo de 0,5 a 1,5 é definido como **completo**.

Já na Figura 4.5 é possível visualizar a variável linguística de entrada **Alteração de Quantidades**, que de forma semelhante às variáveis linguísticas anteriores, está com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

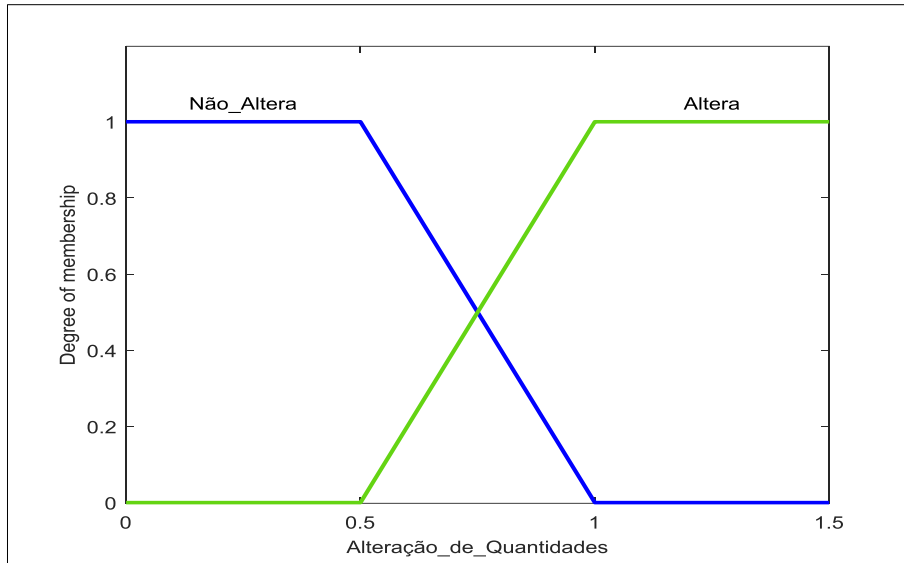


Figura 4.5 - Variável linguística alteração de quantidades.

Na Figura 4.6 visualiza-se a variável linguística de entrada **Autorização de Órgãos Públicos**, com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

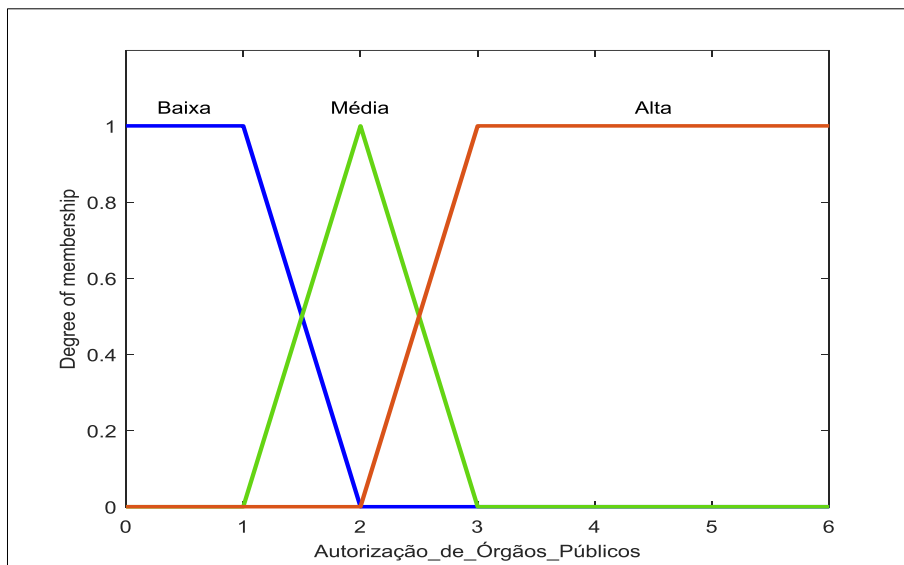


Figura 4.6 - Variável linguística autorização de órgãos públicos.

Nessa Figura os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos **baixa** e **alta** são trapezoidais, enquanto que o do valor linguístico **média** é triangular, sendo possível interpretar que, no intervalo de 0 a 2, o valor linguístico é considerado **baixa**, no intervalo de 1 a 3 é considerado **média** e acima de 2 é considerado **alta**.

Na Figura 4.7 é possível visualizar a variável linguística de entrada **Chuva** com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

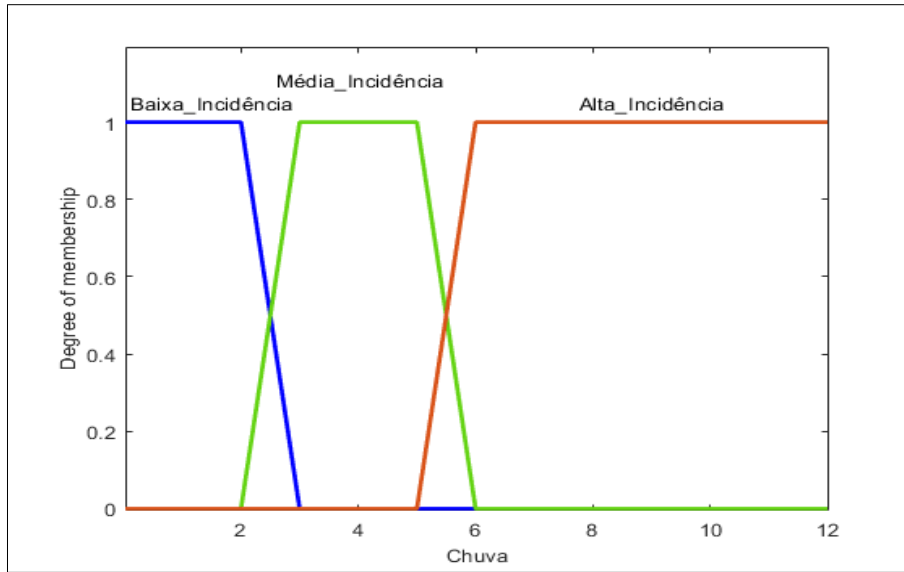


Figura 4.7 - Variável linguística chuva.

Nessa Figura os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos são trapezoidais, de forma que é possível interpretar que o valor linguístico no intervalo de 0 a 2 é considerado **baixa incidência**, no intervalo de 1 a 5 é considerado **média incidência** e acima de 4 é considerado **alta incidência**.

Na Figura 4.8 é possível visualizar a variável linguística de saída **Previsão de Risco de Atraso** com os seus respectivos valores linguísticos, numéricos e funções de pertinência.

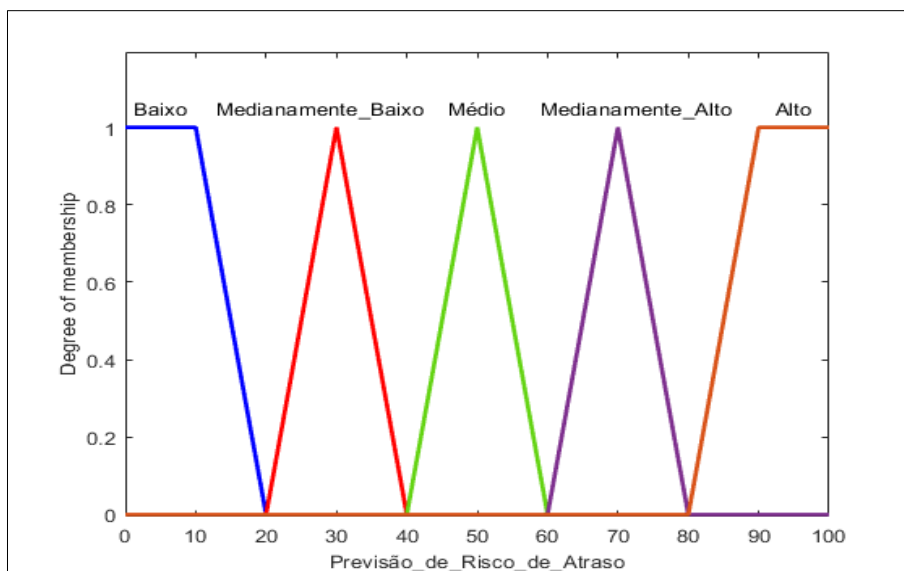


Figura 4.8 - Variável linguística previsão de risco de atraso.

Nessa Figura os formatos das funções de pertinência dos valores linguísticos **baixo** e **alto** são trapezoidais, enquanto que os demais são triangulares, de forma que é possível interpretar que o valor linguístico no intervalo de 0 a 20 é considerado **baixo**, no intervalo de 20 a 40 é considerado **medianamente baixo**, no intervalo de 40 a 60 é considerado **médio**, no intervalo 60 a 80 é considerado **medianamente alto** e acima de 80 é considerado **alto**.

Após a inserção das variáveis linguísticas, inseriu-se as 324 regras de inferência criadas. Na Figura 4.9 é possível visualizar parcialmente essas regras de inferência.

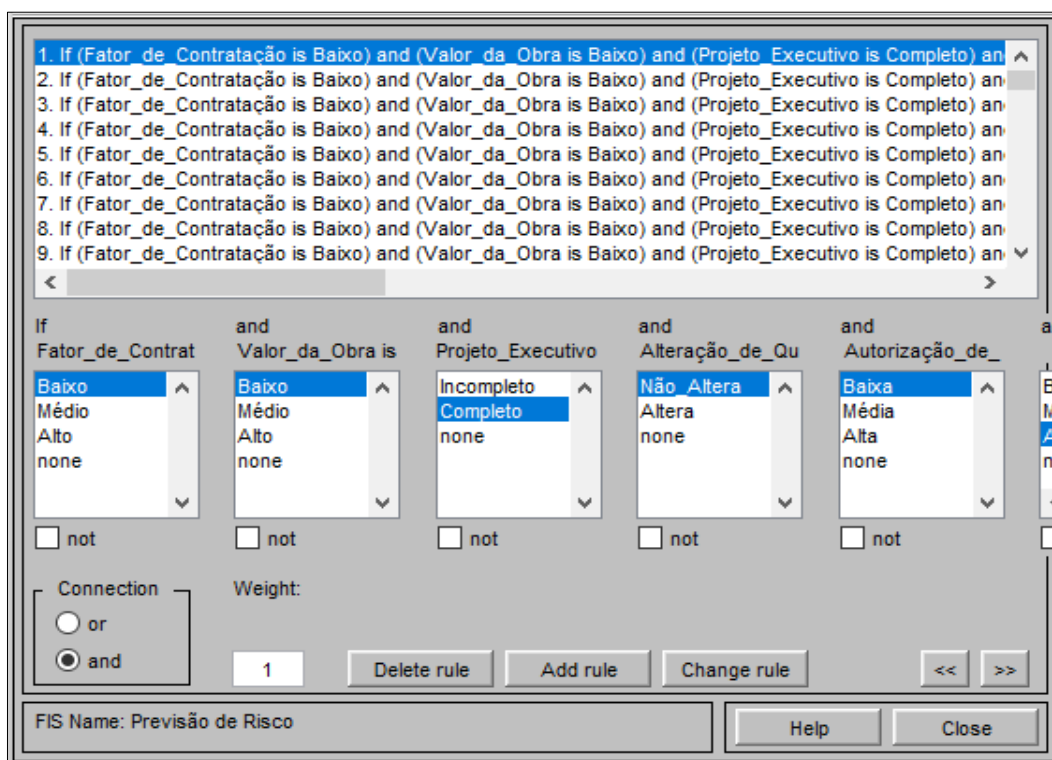


Figura 4.9 - Parte das regras de inferência.

Nessa Figura é possível visualizar as variáveis linguísticas de entrada **Fator de Contratação**, **Valor da Obra**, **Projeto Executivo**, **Alteração de Quantidades** e **Autorização de Órgãos Públicos**. Também é possível visualizar a utilização do conectivo lógico *and* (e).

Após a inserção das regras de inferência, foi possível ver o processo de inferência do sistema. Na Figura 4.10 é possível visualizar esse processo de inferência.



Figura 4.10 - Processo de inferência do sistema.

Nessa Figura é possível visualizar que, após a inserção das variáveis linguísticas de entrada e saída com os seus respectivos valores linguísticos, valores numéricos e funções de pertinência, o sistema, mediante defuzzificação e nas condições consideradas pelo *software* para as variáveis de entrada, gerou como resposta o valor numérico de 91,4.

O visualizador de regras do *Fuzzy Logic Design* no processo de inferência do sistema permite tanto a visualização dos conjuntos *fuzzy* de entrada bem como do conjunto *fuzzy* de saída, permite ainda visualizar se há alteração no valor de saída, quando ocorre modificação dos valores de entrada.

Na Figura 4.11 pode-se visualizar a resposta do processo de inferência do sistema proposto, com a modificação do valor da variável linguística de entrada **Fator de Contratação** de 50 para 85 e modificação do valor da variável linguística de entrada **Alteração de Quantidades** de 0,75 para 0,50. Com essa modificação o sistema gerou como resposta o valor numérico de 70.

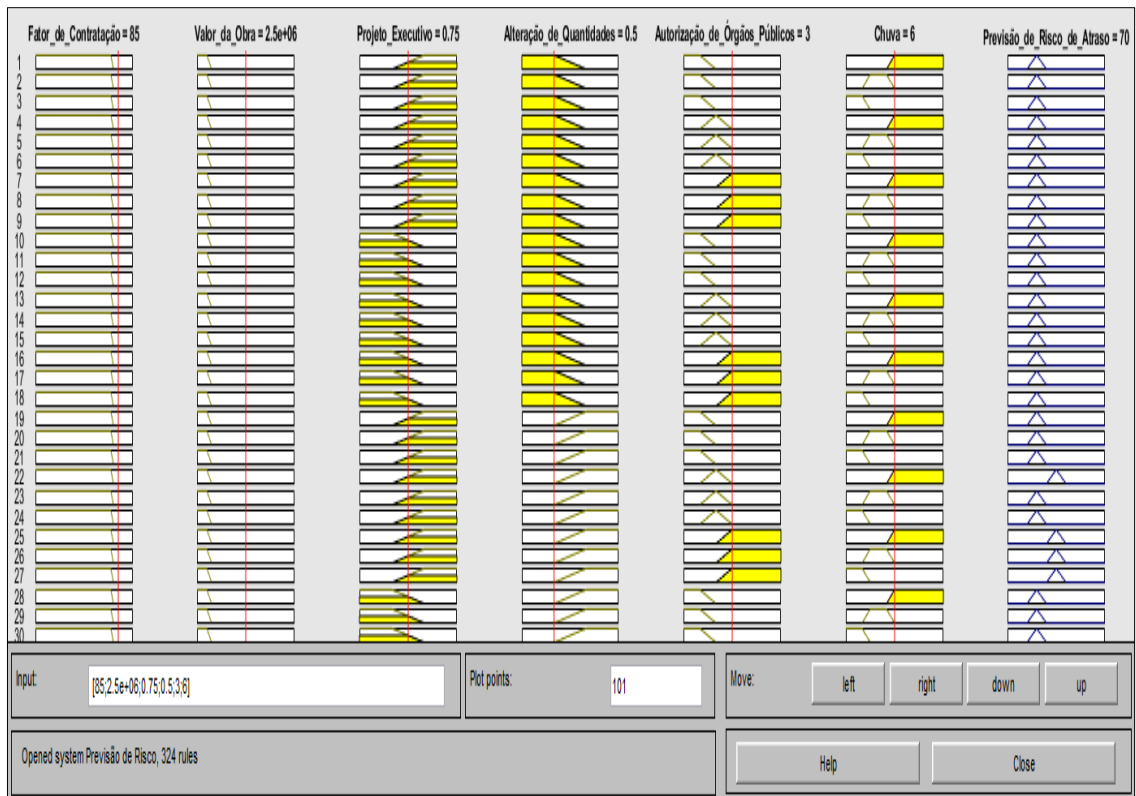


Figura 4.11 - Processo de inferência do sistema com novos valores de entrada.

Após isso foi possibilitada a visualização dos gráficos de superfície e a interação entre as variáveis linguísticas de entrada. Na Figura 4.12 é possível visualizar o gráfico de superfície de resposta mostrando a interação entre as variáveis linguísticas de entrada **Fator de Contratação** e **Valor da Obra**.

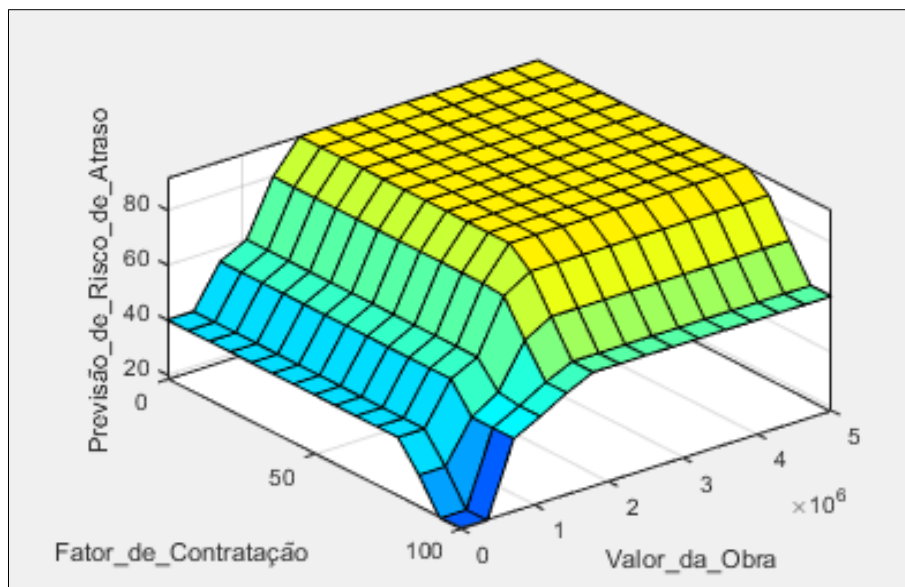


Figura 4.12 - Gráfico de superfície de resposta (primeiro gráfico).

Nessa Figura é possível identificar que, mesmo o Fator de Contratação sendo alto, ou seja, próximo de 100, o risco de atraso irá aumentar quando o valor da obra também aumentar.

Também se identifica que, mesmo o Valor da Obra sendo baixo, o risco de atraso irá aumentar quando houver uma redução do Fator de Contratação, ou seja, quando houver um desconto significativo na proposta de preço da empresa contratada.

Na Figura 4.13 visualiza-se o gráfico de superfície de resposta mostrando a interação entre as variáveis linguísticas de entrada **Valor da Obra** e **Alteração de Quantidades**.

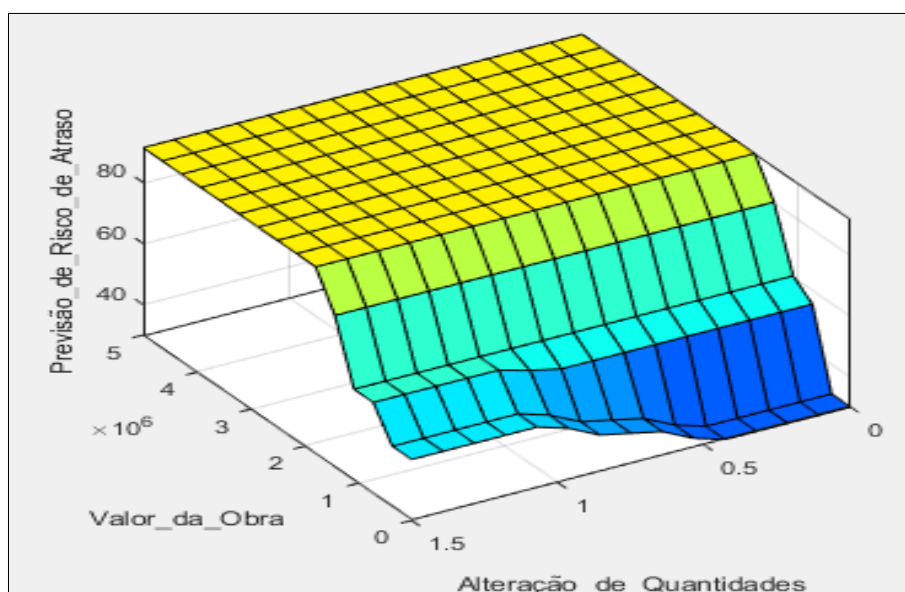


Figura 4.13 - Gráfico de superfície de resposta (segundo gráfico).

Nessa Figura é possível identificar que o risco de atraso é baixo quando o Valor da Obra é baixo e não há Alteração de Quantidades, todavia havendo Alteração de Quantidades o risco de atraso aumenta, mesmo se o Valor da Obra for baixo.

Também se identifica que mesmo não havendo Alteração de Quantidades, o risco de atraso aumentará, se o valor da obra for alto.

4.6 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY PROPOSTO

Para simulação do modelo criado, afim de confirmar o seu funcionamento, inseriu-se dados reais de obras públicas realizadas na cidade de Manaus, com valor de contratação de até R\$ 5.000.000,00.

Em consulta aos dados obtidos junto ao órgão público extraiu-se as informações necessárias para utilização na simulação do modelo de inferência *fuzzy* proposto.

Do documento projeto básico, obteve-se a informação sobre o valor orçado pela administração pública para execução da obra bem como a verificação da existência do projeto executivo como serviço na planilha orçamentária, e ainda, a possível necessidade de autorização ou apoio de outros órgãos públicos para a realização da obra.

Já no documento contrato administrativo celebrado entre a administração pública e a empresa contratada, obteve-se o valor contratado, que é o valor da obra, e ainda, o seu prazo de execução.

No documento Ordem de Serviço obteve-se a informação sobre a data de início de execução da obra, que em conjunto com a informação sobre o prazo de execução descrito no instrumento contratual, obteve-se também a possível data de conclusão, sendo possível identificar em que período do ano a obra foi construída, ou seja, se foi no período de baixa, média ou alta incidência de chuvas.

Já o Fator de Contratação foi obtido a partir da relação entre o valor contratado e o valor orçado pela administração pública.

Foram inseridos dados de 4 obras de construção, sendo duas obras referentes a construção de pontilhões e duas obras referentes a construção de academias ao ar livre.

Na Tabela 4.4 pode-se ver os dados extraídos dos documentos públicos pesquisados.

Tabela 4.4 - Dados das obras públicas construídas.

Obra	Fator de Contratação	Valor da Obra (R\$)	Projeto Executivo	Alteração de Quantidades	Autorização de Órgãos Públicos	Chuva
1	75%	1.138.268,06	Incompleto	Altera	Baixa	Alta Incidência
2	98%	1.307.641,32	Incompleto	Altera	Baixa	Alta Incidência
3	79%	126.337,59	Completo	Não Altera	Baixa	Média Incidência
4	83%	80.560,63	Completo	Não Altera	Baixa	Alta Incidência

Após a inserção dos dados da obra 1 no sistema de inferência proposto, por meio da defuzzificação, obteve-se como resposta o valor numérico de 70.

Na Figura 4.14 é possível visualizar a resposta que foi gerada pelo sistema para a obra 1.

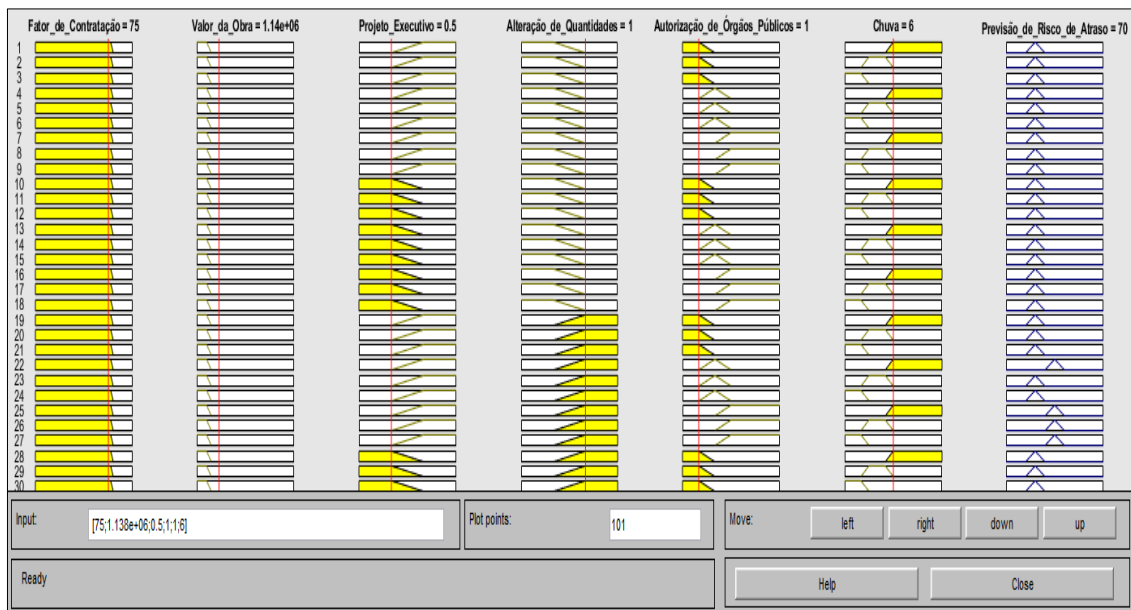


Figura 4.14 - Resposta do sistema de inferência para a obra 1.

Já para a obra 2, inserindo no sistema dados pertinentes a essa obra, e, pelo mesmo processo de defuzzificação, obteve-se o como resposta o valor de numérico de 57,9. Na Figura 4.15 é possível visualizar a resposta que foi gerada pelo sistema para a obra 2.

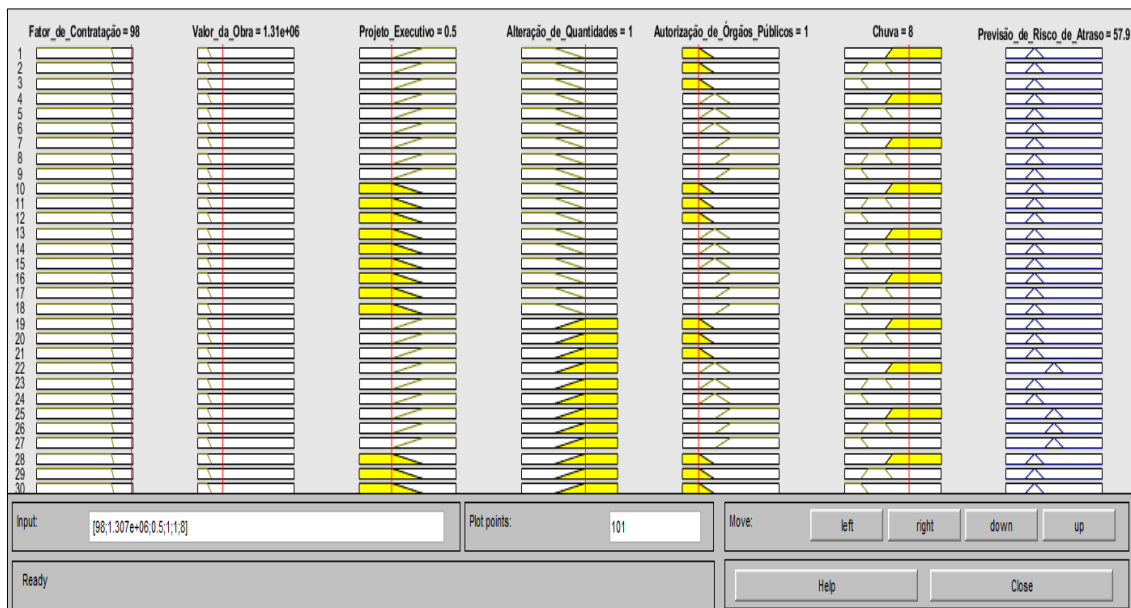


Figura 4.15 - Resposta do sistema de inferência para a obra 2.

Para a obra 3, inserindo os seus dados no sistema de inferência, e, pelo processo de defuzzificação, obteve-se como resposta o valor numérico de 20,1. Na Figura 4.16 é possível visualizar a resposta que foi gerada pelo sistema para a obra 3.

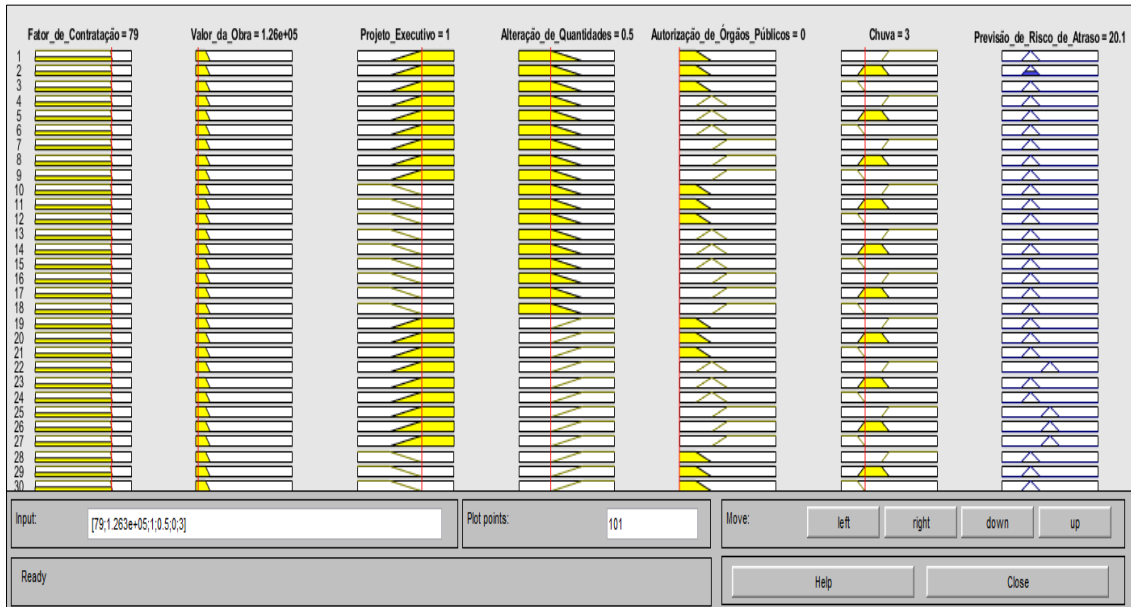


Figura 4.16 - Resposta do sistema de inferência para a obra 3.

Para a obra 4, inserindo os dados pertinentes a essa obra no sistema, mediante o processo de defuzzificação, obteve-se como resposta o valor numérico de 7,71. Na Figura 4.17 é possível visualizar a resposta que foi gerada pelo sistema para a obra 4.

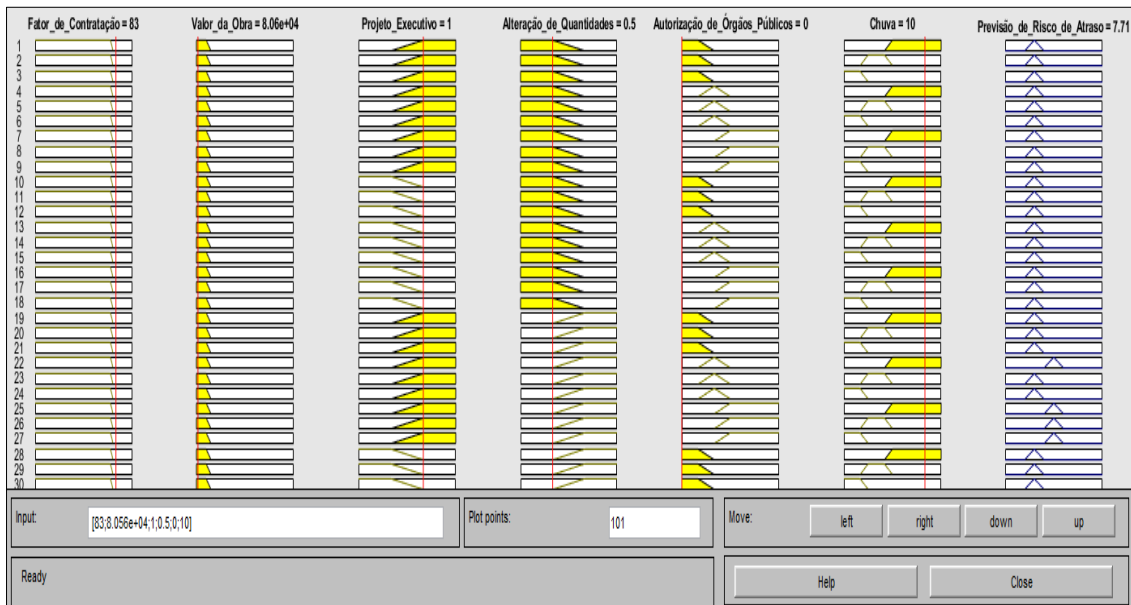


Figura 4.17 - Resposta do sistema de inferência para a obra 4.

Com os resultados gerados pelo sistema foi possível obter a previsão de risco de atraso das respectivas obras.

Na Tabela 4.5 podem ser vistas as respostas geradas pelo sistema de inferência e o seu respectivo valor linguístico.

Tabela 4.5 - Resultado do sistema de inferência proposto.

Obra	Parâmetros	Resposta do Sistema <i>Fuzzy</i>	Previsão de Risco de Atraso
1	60 a 80	70	Medianamente alto
2	40 a 60	57,9	Médio
3	20 a 40	20,1	Medianamente baixo
4	0 a 20	7,71	Baixo

Após a obtenção dessas respostas, buscou-se comparar as mesmas com as informações dos processos administrativos das respectivas obras, sendo constatado que as obras 1 e 2 sofreram atrasos nos seus prazos de execução, enquanto que as obras 3 e 4 tiveram as suas conclusões no prazo programado.

A Tabela 4.6 mostra os prazos programados e os prazos em que as obras foram concluídas, juntamente com a previsão de risco gerada pelo sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Tabela 4.6 - Comparação das respostas do sistema com as informações documentais.

Obra	Prazo Programado de Execução	Previsão de Risco de Atraso	Prazo Real de Execução	Houve atraso?
1	150 dias	Medianamente alto	178 dias	Sim
2	150 dias	Médio	314 dias	Sim
3	60 dias	Medianamente baixo	60 dias	Não
4	60 dias	Baixo	60 dias	Não

Ainda comparando as respostas dadas pelo sistema de inferência com as informações dos processos administrativos dessas obras, constatou-se que, em relação a obra 1, o atraso ocorrido foi em decorrência de acréscimo de quantidades de serviços e projetos executivos incompletos.

Já em relação a obra 2, constatou-se que o atraso foi em virtude da necessidade de autorização de órgão público, projetos executivos incompletos, ocorrência de chuvas e acréscimo de quantidades de serviços.

A Tabela 4.7 mostra o prazo real de execução das obras, a quantidade de dias de atraso e as causas desses atrasos.

Tabela 4.7 - Respostas do sistema e as causas dos atrasos.

Obra	Prazo Real de Execução	Dias de atraso	Causas do atraso
1	178 dias	28 dias	-Acréscimo de quantidades de serviços -Projetos executivos incompletos
2	314 dias	164 dias	-Acréscimo de quantidades de serviços -Chuvas -Necessidade de autorização de órgãos públicos -Projetos executivos incompletos
3	60 dias	0	-
4	60 dias	0	-

Ainda buscando validar o modelo de inferência *fuzzy* proposto, efetuou-se algumas modificações nas variáveis linguísticas de entrada **Projetos Executivos** e **Alteração de Quantidades** das obras consideradas, afim de identificar uma possível redução do risco de atraso.

Para a obra 1, considerou-se que a mesma possuía os projetos executivos completos, não implicando em acréscimos de quantidades de serviços, pois espera-se que as quantidades desses serviços sejam obtidas de forma bem definidas, já que os projetos executivos estão completos, não sendo necessária sua elaboração durante a execução da obra.

Para a obra 2, de modo semelhante a obra 1, foi considerado que os projetos executivos também estavam completos, não havendo necessidade de acréscimos de quantidades nos serviços da planilha orçamentária, já que se espera que as quantidades estejam definidas conforme os projetos existentes.

Para a obra 3 e 4, considerou-se que os projetos estavam incompletos, ou seja, considerou-se que os mesmos seriam elaborados durante a execução da obra, e que, em decorrência disso, existiria a necessidade de acréscimos de quantidades nos serviços contratados, uma vez que essas quantidades são obtidas mediante consulta aos projetos

executivos, sendo essas quantidades pouco precisas em virtude da incompletude dos tais projetos na fase interna de licitação.

A Tabela 4.8 mostra essa nova concepção para as variáveis linguísticas de entrada do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Tabela 4.8 - Novos dados para as variáveis linguísticas de entrada.

Obra	Fator de Contratação	Valor da Obra (R\$)	Projeto Executivo	Alteração de Quantidades	Autorização de Órgãos Públicos	Chuva
1	75%	1.138.268,06	Completo	Não Altera	Baixa	Alta Incidência
2	98%	1.307.641,32	Completo	Não Altera	Baixa	Alta Incidência
3	79%	126.337,59	Incompleto	Altera	Baixa	Média Incidência
4	83%	80.560,63	Incompleto	Altera	Baixa	Alta Incidência

Após a inserção dos novos dados da obra 1, o sistema de inferência proposto gerou como resposta o valor numérico de 50.

Na Figura 4.18 é possível visualizar a resposta que o sistema, sob novas condições, gerou para a obra 1.

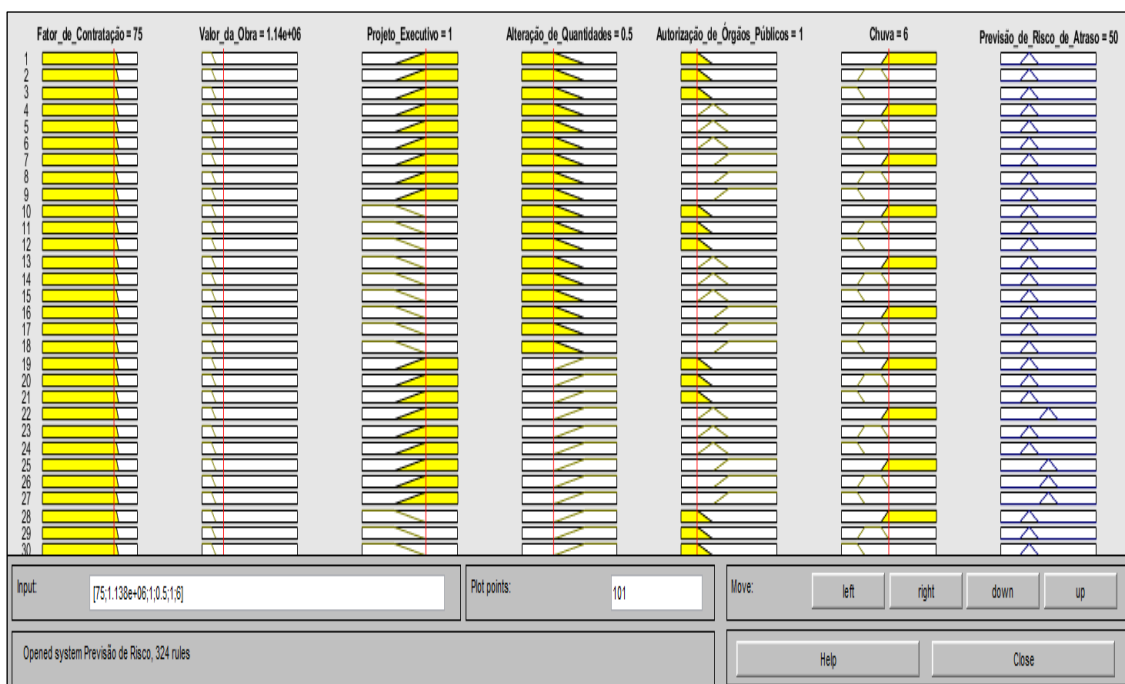


Figura 4.18 - Nova resposta do sistema de inferência para a obra 1.

Após a inserção dos novos dados da obra 2 no sistema de inferência proposto, foi gerado o valor numérico de 37,9 como resposta. Na Figura 4.19 é possível visualizar a resposta que o sistema emitiu para a obra 2.

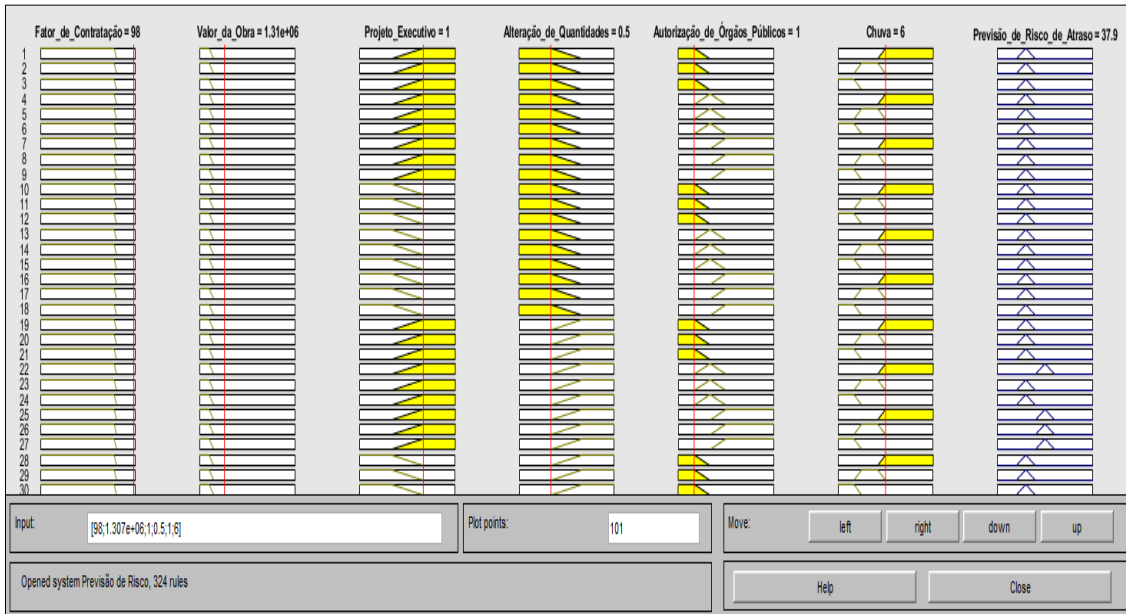


Figura 4.19 - Nova resposta do sistema de inferência para a obra 2.

Após a inserção dos novos dados da obra 3 no sistema de inferência proposto, foi gerado o valor numérico de 30 como resposta. Na Figura 4.20 é possível visualizar essa resposta que o sistema emitiu para a obra 3.

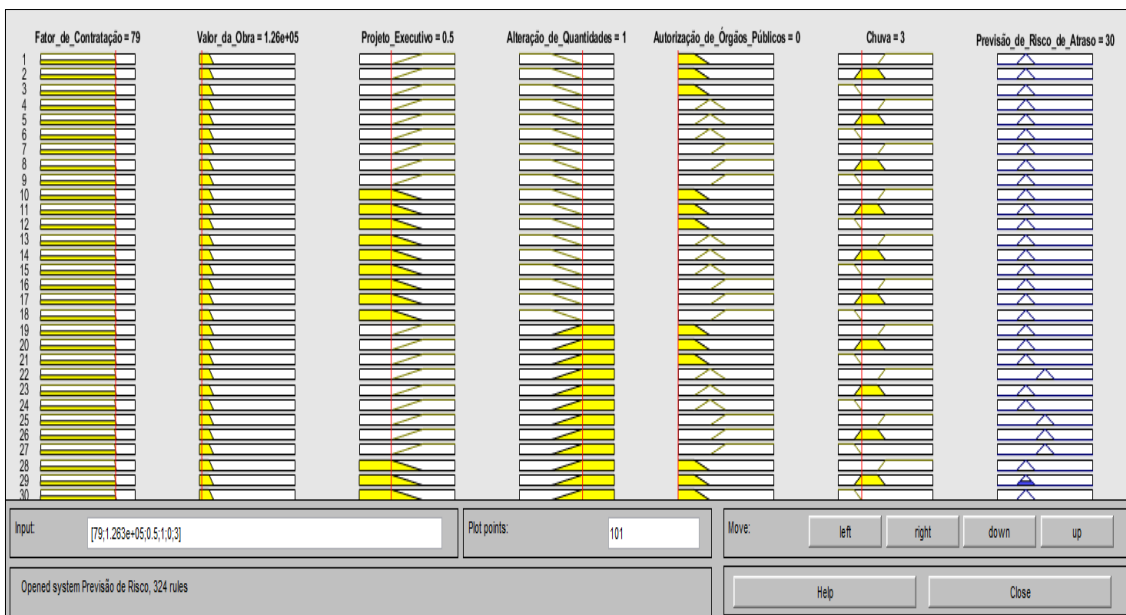


Figura 4.20 - Nova resposta do sistema de inferência para a obra 3.

Após a inserção dos novos dados da obra 4 no sistema de inferência proposto, foi gerado o valor numérico de 30 como resposta. Na Figura 4.21 é possível visualizar essa resposta que o sistema emitiu para a obra 4.

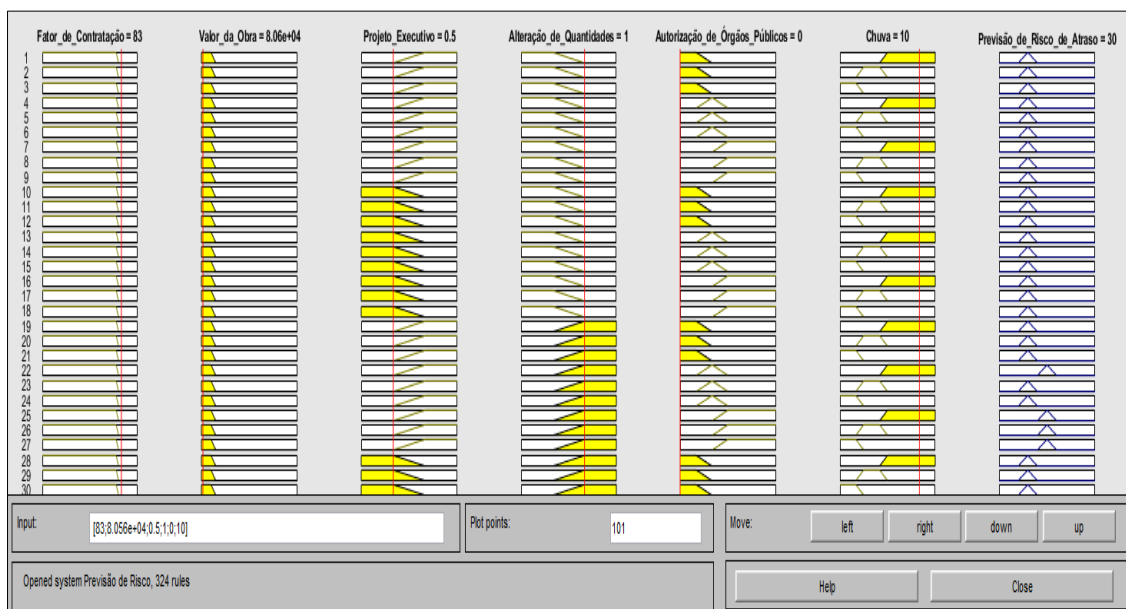


Figura 4.21 - Nova resposta do sistema de inferência para a obra 4.

Os resultados apresentados pelo sistema de inferência *fuzzy* após as modificações realizadas nas variáveis linguísticas de entradas **Projetos Executivos** e **Alterações de Quantidades**, foram, em termos numéricos, divergentes em todas as obras, todavia, os resultados apresentados em termos linguísticos, foram divergentes em três obras. Na Tabela 4.9 podem ser vistas essas comparações.

Tabela 4.9 - Resultados do sistema de inferência antes e após modificações.

Obra	Resposta do Sistema <i>Fuzzy</i> (antes das modificações)	Previsão de Risco de Atraso
1	70	Medianamente alto
2	57,9	Médio
3	20,1	Medianamente baixo
4	7,71	Baixo
Obra	Resposta do Sistema <i>Fuzzy</i> (após as modificações)	Previsão de Risco de Atraso
1	50	Médio
2	37,9	Medianamente baixo
3	30	Medianamente baixo
4	30	Medianamente baixo

4.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DO SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Foram feitas duas análises dos resultados do sistema de inferência, a primeira análise correspondeu à situação real, ou seja, aquela registrada nos processos administrativos das obras relacionadas. Já a segunda análise, correspondeu à uma situação hipotética, ou seja, uma análise do resultado caso os parâmetros inicialmente considerados fossem outros.

4.7.1 - Análise dos resultados utilizando dados reais das obras

Para a obra 1, a resposta do sistema de inferência *fuzzy* foi um risco de atraso **medianamente alto**, que se confirmou, pois, a obra teve um atraso no prazo de execução de 28 dias, onde uma causa deu origem a outra, ou seja, os projetos executivos foram elaborados durante a execução da obra, pois estavam incompletos quando ocorreu o processo licitatório, e, esses projetos elaborados, implicaram em acréscimos de quantidades de serviços. Esse risco poderia ser minimizado, caso a administração pública houvesse providenciado tais projetos na fase interna da licitação.

Para a obra 2, a resposta do sistema de inferência foi um risco de atraso **médio**, que também se confirmou, pois houve um atraso no prazo de execução de 164 dias, sendo que parte desse atraso foi em virtude dos projetos executivos incompletos, gerando a necessidade de suas elaborações durante a execução da obra, implicando em acréscimos de quantidades de serviços.

Também parte desse atraso foi por causa das chuvas ocorridas e a necessidade de apoio de um órgão público para interdição de tráfego na via. Esse risco também poderia ser minimizado, caso a administração pública houvesse providenciado tais projetos na fase interna da licitação.

Para a obra 3, a resposta do sistema de inferência foi um risco de atraso **medianamente baixo**, que foi confirmado, pois a obra foi concluída no prazo previsto, mesmo no período de média incidência de chuvas. Nessa obra constatou-se que os projetos executivos estavam completos e que as quantidades de serviços foram mensuradas com base nesses projetos, minimizando assim o risco de atraso por estas razões.

Constatou-se também que existiu uma boa produtividade na execução dos serviços, pois aqueles não possuíam serviços precedentes, foram executados de forma simultânea com os demais, reduzindo consideravelmente o risco de atraso.

Para a obra 4, a resposta do sistema de inferência foi um risco de atraso **baixo**, que também foi confirmado, mesmo no período de alta incidência de chuvas, pois a obra foi concluída no prazo previsto. Nessa obra, semelhante a anterior, constatou-se que os projetos executivos estavam completos e que as quantidades de serviços foram mensuradas também de acordo com esses projetos, o que reduziu o risco de atraso por essas causas.

Também foi constatado que houve uma boa produtividade na execução dos serviços, sendo que, aqueles que não possuíam serviços precedentes, foram executados de forma simultânea com os outros serviços, o que reduziu também o risco de atraso.

4.7.2 - Análise dos resultados utilizando dados hipotéticos para as obras

Em relação à obra 1, caso os projetos executivos estivessem completos e não ocorresse alteração de quantidades de serviços, o risco de atraso seria **médio**, ou seja, seria menor que o risco anterior, que foi **medianamente alto**, sendo assim a administração pública poderia direcionar as atividades da fiscalização no sentido de observar a produtividade da empresa, já que o seu Fator de Contratação foi de 75%, ou seja, um desconto que exige da empresa uma otimização dos recursos disponíveis, pois nessa condição a obra se aproxima da inexecuibilidade.

Concernente à obra 2, caso os projetos executivos estivessem completos e não ocorresse alteração de quantidades de serviços, o risco de atraso seria **medianamente baixo**, ou seja, menor que o risco anterior, que foi **médio**, sendo assim a administração pública poderia, na fase externa da licitação, ou seja, antes da contratação, envidar esforços no sentido de informar ao órgão público competente, da necessidade de interrupção do tráfego no local da obra, ao invés de imputar à empresa contratada essa responsabilidade de solicitar o apoio do órgão competente após a contratação, comprometendo o prazo de execução.

Já em relação à obra 3, se os projetos executivos estivessem incompletos e houvesse a necessidade de acréscimos de quantidades de serviços, em termos numéricos, o risco de atraso aumentaria, ou seja, passaria de 20,1 para 30, no entanto ainda estaria na faixa do **medianamente baixo**.

Todavia isso não significa que esse aumento no valor numérico não seja significativo. Nesta situação, a administração pública poderia envidar esforços no sentido de exigir celeridade por parte da empresa contratada em apresentar os projetos executivos e os serviços impactados, e, analisar e aprovar de forma célere os projetos e os acréscimos financeiros.

No tocante à obra 4, caso os projetos executivos estivessem incompletos e houvesse a necessidade de acréscimos de quantidades de serviços, o risco de atraso seria **medianamente baixo**, ou seja, maior que o risco anterior, que foi **baixo**.

Todavia essa variação não significa que a mesma não seja significativa. De forma semelhante à obra 3, a administração pública poderia envidar esforços no sentido de exigir celeridade por parte da empresa contratada em apresentar os projetos executivos e a relação dos serviços impactados, e, analisar e aprovar de forma célere os projetos e os acréscimos financeiros necessários para a execução da obra.

Desta maneira, constatou-se que o sistema de inferência *fuzzy* proposto teve um resultado satisfatório, pois foi possível analisar as situações reais das obras e as situações hipotéticas favoráveis e desfavoráveis.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta o resumo da pesquisa realizada, contemplando as ações que vão desde o seu delineamento até os resultados obtidos.

Com o problema da pesquisa estabelecido, buscou-se os elementos necessários para o alcance dos objetivos definidos.

O primeiro objetivo específico alcançado foi identificar as causas dos atrasos das obras públicas, pois por meio da pesquisa documental e bibliográfica, constatou-se que as causas dos atrasos das obras públicas na cidade de Manaus são várias, e que, em decorrência dessa diversidade, a responsabilidade pela sua origem pode ser atribuída tanto à administração pública quanto à empresa contratada, ou ainda, a terceiros.

Nessa variedade de causas de atrasos, foram selecionadas aquelas mais significativas para a construção do modelo de inferência *fuzzy*, que foram: Fator de Contratação, Valor da Obra, Projeto Executivo, Alteração de Quantidades, Autorização de Órgãos Públicos e Chuva. Com essa ação, alcançou-se o segundo objetivo específico, que foi definir as variáveis mais significativas para o modelo de inferência *fuzzy*.

Na concepção do sistema de inferência *fuzzy* foram criados seis parâmetros de entradas e um de saída. Entre esses parâmetros de entrada, quatro parâmetros possuíam três conjuntos *fuzzy* e dois parâmetros possuíam dois conjuntos *fuzzy*, enquanto que o parâmetro de saída possuía cinco conjuntos *fuzzy*.

Os formatos das funções de pertinência desses conjuntos foram triangulares e trapezoidais, sendo elaboradas também 324 regras de inferência do tipo *if(se)-then(então)*, sendo desta maneira o terceiro objetivo específico alcançado, que foi desenvolver o modelo de inferência *fuzzy*.

O quarto objetivo específico, que foi implementar o modelo de inferência *fuzzy*, também foi alcançado, pois no sistema de inferência *fuzzy* criado realizou-se as simulações utilizando dados reais de obras que foram contratadas e executadas. Também se realizou as simulações utilizando dados hipotéticos para algumas variáveis linguísticas das mesmas obras.

O resultado proporcionado pelo sistema de inferência *fuzzy* por meio da simulação se mostrou proveitoso, pois foi possível obter uma previsão de risco de atraso do prazo de execução da obra, que foi confirmada pelos documentos pertinentes às obras consideradas na simulação. O sistema de inferência também gerou respostas satisfatórias para os casos hipotéticos.

Assim, o sistema de inferência *fuzzy* proposto poderá ser utilizado pela administração pública na fase de elaboração do projeto básico, onde a elaboração do projeto executivo poderá ser considerada como um serviço na planilha orçamentária ou poderá ser atribuída à administração pública a responsabilidade pela sua elaboração na fase interna da licitação, podendo também ser planejado os meses de início e término, considerando a ocorrências das precipitações pluviométricas.

Também permite que haja uma antecipação da administração pública em obter as autorizações e apoios necessários de outros órgãos públicos, minimizando o impacto, em decorrência dessa necessidade ser realizada pela empresa contratada.

Já durante a execução da obra, a fiscalização poderá observar se a produtividade proposta no cronograma físico-financeiro está sendo cumprida pela empresa contratada, principalmente naquelas obras em que o Fator de Contratação for baixo, uma vez que o preço ofertado se aproxima de uma inexecutabilidade presumida.

Já para empresa contratada pode servir de base para tomada de decisões naquilo que for de sua competência para mitigar as causas dos atrasos, tais como: otimização da mão de obra e materiais, programação de serviços, compra e entrega de insumos.

Desta forma, conclui-se que foi possível desenvolver um modelo de inferência *fuzzy* para previsão de atraso no prazo de execução de obras públicas na cidade de Manaus, sendo alcançado desta forma o objetivo geral da presente pesquisa.

5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O assunto pesquisado não se esgota neste trabalho tampouco as variáveis utilizadas no modelo de inferência *fuzzy*.

Desta forma sugere-se para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de um sistema de inferência *fuzzy* para previsão de risco de atraso em obras de construção de edificações, podendo ser desenvolvido para edificações destinadas para área da saúde ou edificações destinadas para área da educação;

- Desenvolvimento de um sistema de inferência *fuzzy* para previsão de risco de atraso em obras de reforma e ampliação de edificações, podendo essas edificações serem destinadas para área da saúde ou educação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELGAWAD, M.; FAYEK, A. R. Risk management in the construction industry using combined *fuzzy* FMEA and *fuzzy* AHP. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, pp. 1028-1036, 2010.

ALSULIMAN, J. A. Causes of delay in saudi public construction projects. **Alexandria Engineering Journal**, v. 58, n. 2, pp. 801-808, 2019.

ALTOUNIAN, C. S. **Obras públicas: licitação, contratação, fiscalização e utilização**. 5. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2016.

ARAGÃO FILHO, S. A. P. **O custo do atraso em obras públicas viárias**. 2014. Disponível em: <<https://www.doccity.com/pt/o-custo-do-atraso-em-obras-publicas-viarias/4883562/>>. Acesso em: 3 de agosto de 2020, 18h25min.

ARESE, M. C. **Maturidade da gestão de ativos físicos de processo: uma perspectiva sustentável utilizando lógica nebulosa**. 2018. 228f. Tese (Doutorado em sistemas de gestão sustentáveis) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2018.

ARIF, F.; MORAD, A. A. Concurrent delays in construction: international legal perspective. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, v. 6, n. 1, pp. 04513001 (1-8), 2014.

ASSAF, S. A.; AL-HEJJI, S. Causes of delay in large construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 24, n. 4, pp. 349-357, 2006.

ASSBEIHAT, J. M. Factors affecting delays on private construction projects. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 7, n. 2, pp. 22-33, 2016.

BAGAYA, O.; SONG, J. Empirical study of factors influencing schedule delays of public construction projects in Burkina Faso. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 5, pp. 05016014 (1-10), 2016.

BHATT, R.; MACWAN, J. E. M. *Fuzzy* logic and analytic hierarchy process-based conceptual model for sustainable commercial building assessment for India. **Journal of Architectural Engineering**, v. 22, n. 1, pp. 04015009 (1-10), 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas emendas constitucionais de revisão n.º 1 a 6/94, pelas emendas constitucionais n.º 1/92 a 92/2016 e pelo Decreto Legislativo n.º 186/2008.** Brasília: Senado Federal: Coordenação de Edições Técnicas, 2016.

BRASIL. **Lei nº 8.666/1993: licitações e contratos.** Brasília: Senado Federal: Coordenação de Edições Técnicas, 2017.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Obras públicas: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras de edificações públicas.** 2 ed. Brasília: TCU: SECOB, 2009.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Impacto econômico e social da paralisação das obras públicas.** 2018. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/06/Impacto_Economico_das_Obras_Paralisadas.pdf>. Acesso em: 6 de agosto de 2020, 22h15min.

CHEN, G., PHAM, T. T. **Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems.** 1. ed. Florida: CRC Press, 2019.

CHOUDHRY, R. M. *et al.* Cost and schedule risk analysis of bridge construction in Pakistan: establishing risk guidelines. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 7, pp. 04014020 (1-9), 2014.

COLPO, I. *et al.* Atrasos na execução das obras públicas: estudo em uma instituição federal de ensino superior. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 4, pp. 1322-1343, 2018.

CORREIA, M. F. Z. **Proposta de aplicação da lógica fuzzy nos materiais cirúrgicos do almoxarifado central do HUCFF para auxiliar a tomada de decisão concernente ao controle de estoques.** 2016. 100f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

COUTO, J. P. P. M. **Incumprimento dos prazos na construção.** 2007. 468f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho. Braga, 2007.

ELBARKOUKY, M. M. G. *et al.* Fuzzy arithmetic risk analysis approach to determine construction project contingency. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 12, pp. 04016070 (1-11), 2016.

GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A. Indicadores de sustentabilidade para a educação básica por modelagem *fuzzy*. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, pp. 274-297, 2015.

GAYER, F. A. M. **A matemática está em tudo: modelagem *fuzzy* para um problema da indústria e uma proposta de aplicação no ensino médio**. 2017. 105f. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 2017.

GUPTA, C.; KUMAR, C. Study of factors causing cost and time overrun in construction projects. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 9, n. 10, pp. 202-206, 2020.

HORTEGAL, M. V. **Aplicação da lógica *fuzzy* no controle do desempenho de estacas hélice contínua**. 2016. 157f. Tese (Doutorado em geotécnica) – Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **OT-IBR 001/2006: projeto básico**. 2006. Disponível em: <https://www.ibraop.org.br/wp-content/uploads/2013/06/orientacao_tecnica.pdf>. Acesso em: 5 de março de 2020, 9h15min.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação nacional de atividades econômicas – CNAE: subclasses para uso da administração pública: versão 2.2**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa anual da indústria da construção 2018**. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/vi-sualizacao/periodicos/54/paic_2018_v28_informativo.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2021, 9h30min.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS. **Trecho de um orçamento**. 2020. Disponível em: <http://www2.ifam.edu.br/pro-reitorias/adminitracao/proad/licitacoes/tomada-de-preco-05-2020-1/202008d20IFAMMAUS8.1.Planilha_Oramentaria3.pdf>. Acesso em: 31 de maio de 2021, 15h55min.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS. **Cronograma físico-financeiro**. 2020. Disponível em: <<http://www2.ifam.edu.br/pro-reitorias/adminitracao/proad/licitacoes/convite-03->

2020/201911-ifam-chum-muro-8-2-cronograma.pdf> Acesso em: 31 de maio de 2021, 15h35min.

KHAIR, K. *et al.* A management framework to reduce delays in road construction projects in Sudan. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 43, n. 4, pp. 1925-1940, 2018.

KRAIEM, Z. M.; DIEKMANN, J. E. Concurrent delays in construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 113, n. 4, pp. 591-602, 1987.

LARSEN, J. K. *et al.* Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 1, pp. 04015032 (1-10), 2016.

LIMA, S. **Implementação de estratégias de controle utilizando lógica *fuzzy* e técnicas de controle vetorial em um software de elementos finitos**. 2016. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MAJID, M. Z. A. **Non-excusable delays in construction**. 1997. 302f. (Doctoral Thesis) - Loughborough University. Loughborough, UK, 1997.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019a.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019b.

MPOFU, B. *et al.* Profiling causative factors leading to construction project delays in the United Arab Emirates. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 2, pp. 346-376, 2017.

NACIF JUNIOR, L. C. **Uma contribuição à análise de decisão sobre a exploração comercial de poços de petróleo offshore: um sistema *fuzzy* para inferir a concentração de bactérias redutoras de sulfato em suporte ao processo de análise**

de amostras de óleo. 2018. 166f. Tese (Doutorado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

NASSAR, A. H. Causes and effects of delay in the construction industry in Egypt. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 5, n. 4, pp. 447-452, 2016.

NYONI, T.; BONGA, W. G. Towards factors affecting delays in construction projects: a case of Zimbabwe. **Journal of Economics and Finance**, v. 2, n. 1, pp. 12-28, 2017.

PINTO, P. J. F. **Modelo fuzzy para priorização de variáveis qualitativas de desempenho: uma abordagem em construção naval.** 2019. 119f. Tese (Doutorado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

PORTO, F. M. **Trajeto ao menor risco – modelo de análise/avaliação.** 2019. 126f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRE. **Projeto de engenharia.** 2019. Disponível em: <https://old.alegre.es.gov.br/images/diario-oficial/licitacoes/2019/tp00119/01_02_projeto_reforma_escola_domingos_bravo.pdf> Acesso em: 7 de agosto de 2020, 8h40min.

QAYTMAS, N. Causes of delays in construction projects in Faryab/Afghanistan. **International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology**, v. 7, n. 6, pp. 72-77, 2020.

RACHID, Z.; TOUFIK, B.; MOHAMMED, B. Causes of schedule delays in construction projects in Algeria. **International Journal of Construction Management**, v. 19, n. 5, pp. 371-381, 2019.

REZENDE, S. O. (org.). **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações.** 1. ed. São Paulo: Manole, 2005.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications.** 4. ed. United Kingdom, John Wiley & Sons, 2017.

SCATOLINO, G.; TRINDADE, J. **Manual de direito administrativo.** 4. ed. Salvador: JusPodivm, 2016.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher: Fapesp, 2007.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2011.

TRAUNER, T. J. *et al.* **Construction delays**. 3. ed. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2017.

VIEIRA, A. S. A. **Avaliação a suscetibilidade de deslizamento de terra na bacia hidrográfica do Rio Trombetas via lógica fuzzy**. 2018. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2018.

WANG, T-K. *et al.* Causes of delays in the construction phase of chinese building projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 11, pp. 1534-1551, 2018.

YEHEYIS, M. *et al.* Evaluating motivation of construction workers: a comparison of *fuzzy* rule-based model with the traditional expectancy theory. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 7, pp. 862-873, 2016.

ZIDANE, Y. J-T., ANDERSEN, B. The top 10 universal delay factors in construction projects. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 11, n. 3, pp. 650-672, 2018.

ZIMMERMANN, H-J. **Fuzzy set theory and its applications**. 4. ed. New York: Springer Science and Business Media, 2001.