

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE  
REDES DE TELECOMUNICAÇÕES**

**RINA GRACIELA RONDÓN GONZÁLEZ**

**ANÁLISE DE ATENUAÇÃO DE SINAL EM  
AMBIENTES *INDOOR* USANDO  
LÓGICA NEBULOSA**

**CAMPINAS**

**2009**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**GRÃO-CHANCELER**

Dom Bruno Gamberini

**MAGNÍFICO REITOR**

Prof. Pe. Wilson Denadai

**VICE-REITORA**

Profa. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

Profa. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS,  
AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL  
EM GESTÃO DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES**

Prof. Dr. Marcelo Luis Francisco Abbade

Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3845 Rondón González, Rina Graciela.  
R771a Análise de atenuação de sinal em ambientes indoor usando lógica  
nebulosa / Rina Graciela Rondón González. - Campinas: PUC-  
Campinas, 2009.  
143p.

Orientador: Alexandre Mota.  
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas, Centro de Ciências Ambientais e de Tecnologias, Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica.  
Inclui anexos e bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio. 2. Sistemas de telecomu-  
nicações. 3. Processamento de sinais. 4. Lógica difusa. I. Mota,  
Alexandre. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro  
de Ciências Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Enge-  
nharia Elétrica. III. Título.

22. CDD – t621.3845

**RINA GRACIELA RONDÓN GONZÁLEZ**

**ANÁLISE DE ATENUAÇÃO DE SINAL EM  
AMBIENTES *INDOOR* USANDO LÓGICA  
NEBULOSA**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mota

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**2009**

**RINA GRACIELA RONDÓN GONZÁLEZ**

**ANÁLISE DE ATENUAÇÃO DE SINAL EM AMBIENTES  
INDOOR USANDO LÓGICA NEBULOSA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviços.

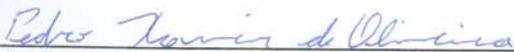
Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota

Dissertação defendida e aprovada em 18 de dezembro de 2009 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Pedro Xavier de Oliveira  
Faculdade de Informática e Administração Paulista



---

Prof. Dr. José Sindi Yamamoto  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Dedicado a:**

Meus pais, por ter me ensinado que com esforço um consegue o que se propõe;  
e que não importa quantas vezes eu cair, eles sempre vão estar ai para me ajudar a levantar.

Minhas irmãs, por que independentemente do lugar onde estejam, elas sempre estão comigo.

Aos meus sobrinhos, por encher a nossa vida de alegria e felicidade.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de viver esta experiência de estudo neste país e prestigiosa Universidade.

A meus pais, Emilia e Carlos, por que sempre se preocuparam pela minha formação pessoal e Profissional e por ter se esforçado para que eu sempre tenha o melhor.

As minhas irmãs: Jessica, Magali, Carol e Mariella, que são o maior exemplo de amor, luta e fortaleza que eu tenho na minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Alexandre Mota, por a sua preocupação e dedicação durante o seu período de orientação para o meu trabalho.

À Prof. Norma Reggiani, por que sempre esteve presta a me ajudar e colaborar com esta dissertação.

Aos meus companheiros de aula: Adriano, André, Leandro, Luis Fernando, Renato e Vitor, porque sempre me ajudaram e ensinaram o que eles sabiam.

***“No fim tudo dá certo,  
se não deu certo é porque ainda não chegou ao  
fim”.***

Fernando Sabino

## RESUMO

RONDON GONZÁLEZ, Rina Graciela. Análise de Atenuação de Sinal em Ambientes Indoor usando Lógica Nebulosa. Folhas de acordo com ficha catalográfica t621.3845. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2009.

Devido à crescente demanda dos serviços sobre redes sem fio, como vídeo, voz e vídeo conferência e à preocupação das companhias de telecomunicações em atender esta demanda de forma eficiente, torna-se de fundamental importância o planejamento de um enlace sem fio. Dado que a propagação de um sinal em uma rede sem fio não é guiada, esta pode sofrer atenuação causada pelos obstáculos encontrados no meio durante o seu percurso desde o equipamento transmissor até o receptor, variando a potência do sinal da transmissão em cada ambiente percorrido. Por este motivo, para fazer o planejamento da rede é necessário que sejam consideradas as características do ambiente e infra-estrutura por onde o sinal vai trafegar de modo que seja possível obter o valor real da potência recebida em cada ponto do trajeto. Uma vez que a predição da atenuação do sinal em diferentes ambientes, contemplando o impacto relacionado a cada fator que contribui com sua degradação, constitui-se em processo bastante complexo, existe a necessidade de utilização de um modelo que além de contemplar as características do meio possa relacionar os fatores acima mencionados de uma forma simples de modo a permitir a determinação da atenuação do sinal causada pelas barreiras localizadas no meio. O Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing permite caracterizar a atenuação gerada pelo meio, através do parâmetro  $\beta$  presente na equação deste modelo. Por outro lado, a Lógica Nebulosa apresenta uma forma de raciocínio aproximado que permite o tratamento de problemas com informações incompletas, vagas e imprecisas. Também, oferece uma forma simples de inferir uma possível solução para um problema usando o conhecimento heurístico sobre determinada situação. Neste sentido, a Lógica Nebulosa resulta em uma ferramenta útil para o cálculo do parâmetro  $\beta$  do Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing possibilitando a obtenção de valores de  $\beta$  que caracterizem com maior especificação a atenuação do ambiente em estudo. Neste contexto, o presente trabalho trata da análise da atenuação do sinal em ambientes *indoor* usando lógica nebulosa.

Palavras chave: Rede Sem Fio, Lógica Nebulosa, Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing, Valor  $\beta$ .

# ABSTRACT

RONDON GONZÁLEZ, Rina Graciela. Analysis of signal attenuation for Indoor Environments using Fuzzy Logic. Folhas de acordo com ficha catalográfica t621.3845. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2009.

Due to the increasing demand for services related to wireless networks, such as video, voice and video conferencing and to the concern of telecommunications companies to meet this demand efficiently, the planning of a wireless link becomes very important. Since the propagation of a signal over a wireless network is not driven, it can suffer attenuation caused by obstacles in the medium during its transfer from the transmitting equipment to the receiver, varying the signal strength of the transmission in each area covered. For this reason, in order to plan a wireless network, the characteristics of the environment and infrastructure through which the signal will travel, needs to be taken into account, so it is possible to get the real value of the received power at each required point. Furthermore, since the prediction of the signal's attenuation in different places, taking into account the impact caused by each mentioned factor in its degradation, can be considered a complex process, it is necessary to use a model that not only considers the characteristics of the medium but also relates these factors in a simple manner allowing to measure the signal's attenuation caused by the barriers founded in the environment. The Shadowing Signal Propagation model allows the characterization of the attenuation caused by the environment through the  $\beta$  parameter present in this model. On the other hand, the Fuzzy Logic provides a form of approximate reasoning that allows the treatment of problems with incomplete, vague and imprecise information. Also, it offers a simple way to obtain a possible solution for a problem using the heuristic knowledge about a particular situation. In this way, the Fuzzy Logic can be an useful tool for calculating the  $\beta$  parameter of the Shadowing Signal Propagation model, making possible to obtain  $\beta$  values that characterize the attenuation of the environment in study. In this context, this work focuses on the analysis of signal's attenuation in indoor environments using fuzzy logic.

Keywords: Wireless Networks, Fuzzy Logic, Shadowing Model of Signal Propagation, Beta ( $\beta$ ) Value.

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b>	Reflexão de Ondas.....	30
<b>Figura 02.</b>	Obstrução de Onda Propagante por um Obstáculo.....	30
<b>Figura 03.</b>	Princípio de Huygens.....	31
<b>Figura 04.</b>	Refração de Ondas.....	32
<b>Figura 05.</b>	Efeito de Multipercursos.....	33
<b>Figura 06.</b>	Multipercursos em um Ambiente <i>Indoor</i> .....	34
<b>Figura 07.</b>	Variações entre Larga e Pequena Escala.....	35
<b>Figura 08.</b>	Atenuação por Distância.....	46
<b>Figura 09.</b>	Representação da Função de Pertinência Triangular, Variáveis e Valores Lingüísticos.....	51
<b>Figura 10.</b>	Representação Gráfica das Funções de Pertinência Triangular e Trapezoidal.....	52
<b>Figura 11.</b>	Função de Pertinência Triangular .....	54
<b>Figura 12.</b>	Função de Pertinência Trapezoidal.....	54
<b>Figura 13.</b>	Função de Pertinência para a operação <i>E</i> .....	55
<b>Figura 14.</b>	Função de Pertinência para a operação <i>OU</i> .....	56
<b>Figura 15.</b>	Esquema de um Controlador Nebuloso.....	58
<b>Figura 16.</b>	Salas do Ambiente de Estudo.....	62
<b>Figura 17.</b>	Atenuação por ambiente.....	63
<b>Figura 18.</b>	Distribuição de pontos de cada sala.....	63
<b>Figura 19.</b>	FP da variável Paredes de Alvenaria – PA.....	68
<b>Figura 20.</b>	FP da variável Divisórias de Madeira – DIV.....	69
<b>Figura 21.</b>	FP da variável Janelas – JAN.....	70
<b>Figura 22.</b>	FP da variável Armários Metálicos – AM.....	71
<b>Figura 23.</b>	FP da variável Distância – DIS.....	72
<b>Figura 24.</b>	FP da variável Tamanho – TAM.....	72
<b>Figura 25.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria.....	74
<b>Figura 26.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – DIV.....	74
<b>Figura 27.</b>	Conjuntos da variável Janelas – JAN.....	75
<b>Figura 28.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – AM.....	76
<b>Figura 29.</b>	Conjuntos da variável Distância – DIS.....	77
<b>Figura 30.</b>	Conjuntos da variável Tamanho – TAM.....	77
<b>Figura 31.</b>	FP da variável de saída Obstrução.....	78

<b>Figura 32.</b>	Resultado da Inferência – Sala 1.....	80
<b>Figura 33.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 2....	84
<b>Figura 34.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 2....	84
<b>Figura 35.</b>	Conjuntos da variável Janelas – Sala 2.....	85
<b>Figura 36.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 2.....	85
<b>Figura 37.</b>	Conjuntos da variável Distância – Sala 2.....	86
<b>Figura 38.</b>	Conjuntos da variável Tamanho - Sala 2.....	86
<b>Figura 39.</b>	Resultado da Inferência – Sala 2.....	87
<b>Figura 40.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 3....	89
<b>Figura 41.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 3....	89
<b>Figura 42.</b>	Conjuntos da variável Janelas – Sala 3.....	90
<b>Figura 43.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 3.....	90
<b>Figura 44.</b>	Conjuntos da variável Distância – Sala 3.....	91
<b>Figura 45.</b>	Conjuntos da variável Tamanho – Sala 3.....	91
<b>Figura 46.</b>	Resultado da Inferência – Sala 3.....	93
<b>Figura 47.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 4....	94
<b>Figura 48.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 4....	95
<b>Figura 49.</b>	Conjuntos da variável Janelas – Sala 4.....	95
<b>Figura 50.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 4.....	96
<b>Figura 51.</b>	Conjuntos da variável Distância – Sala 4.....	96
<b>Figura 52.</b>	Conjuntos da variável Tamanho – Sala 4.....	97
<b>Figura 53.</b>	Resultado da Inferência – Sala 4.....	98
<b>Figura 54.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 5....	99
<b>Figura 55.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 5....	100
<b>Figura 56.</b>	Conjuntos da variável Janelas – Sala 5.....	100
<b>Figura 57.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 5.....	101
<b>Figura 58.</b>	Conjuntos da variável Distância – Sala 5.....	101
<b>Figura 59.</b>	Conjuntos da variável Tamanho – Sala 5.....	102
<b>Figura 60.</b>	Resultado da Inferência – Sala 5.....	103
<b>Figura 61.</b>	Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 6....	104
<b>Figura 62.</b>	Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 6....	105
<b>Figura 63.</b>	Conjuntos da variável Janelas – Sala 6.....	105
<b>Figura 64.</b>	Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 6.....	106
<b>Figura 65.</b>	Conjuntos da variável Distância – Sala 6.....	106
<b>Figura 66.</b>	Conjuntos da variável Tamanho – Sala 6.....	107
<b>Figura 67.</b>	Resultado da Inferência Conjunto Baixa – Sala 6.....	108

<b>Figura 68.</b>	Resultado da Inferência Conjunto Muito Baixa – Sala 6.	108
<b>Figura 69.</b>	Resultado da Inferência – Sala 6.....	108

# LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01.</b>	Características da Lógica Nebulosa.....	50
-------------------	---	----

# LISTA DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama 01.</b>	Fluxograma da Metodologia Proposta.....	67
---------------------	---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b>	Perdas de Penetração por Obstrução.....	39
<b>Tabela 02.</b>	Perdas de Penetração em Obstáculos.....	43
<b>Tabela 03.</b>	Classificação de $\beta$ para ambientes <i>indoor</i> e <i>outdoor</i> .....	45
<b>Tabela 04.</b>	Valores de Desvio padrão $\sigma$ da Log-Normal em função do ambiente.....	47
<b>Tabela 05.</b>	Representação Matemática da Função Triangular.....	53
<b>Tabela 06.</b>	Operações de Implicação.....	60
<b>Tabela 07.</b>	Resultados Experimentais.....	64
<b>Tabela 08.</b>	Caracterização por Sala.....	65
<b>Tabela 09.</b>	Caracterização Acumulada das Salas.....	65
<b>Tabela 10.</b>	FP da variável Paredes de Alvenaria – PA.....	68
<b>Tabela 11.</b>	FP da variável Divisórias de Madeira – DIV.....	69
<b>Tabela 12.</b>	FP da variável Janelas – JAN.....	69
<b>Tabela 13.</b>	FP da variável Armários Metálicos – AM.....	70
<b>Tabela 14.</b>	FP da variável Distância – DIS.....	71
<b>Tabela 15.</b>	FP da variável Tamanho – TAM.....	72
<b>Tabela 16.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – PA.....	73
<b>Tabela 17.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira.....	74
<b>Tabela 18.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas.....	75
<b>Tabela 19.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos.....	76
<b>Tabela 20.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância.....	76
<b>Tabela 21.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho.....	77
<b>Tabela 22.</b>	FP da variável de saída Obstrução – OBS.....	78
<b>Tabela 23.</b>	Resumo dos Resultados da Fuzzyficação – Sala 1.....	80
<b>Tabela 24.</b>	Resultados da Defuzzyficação – Sala 1.....	83
<b>Tabela 25.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 2.....	83
<b>Tabela 26.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 2.....	84
<b>Tabela 27.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 2.....	84
<b>Tabela 28.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 2.....	85

<b>Tabela 29.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância–Sala 2	85
<b>Tabela 30.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho–Sala 2	86
<b>Tabela 31.</b>	Resultados da Fuzzyficação – Sala 2.....	87
<b>Tabela 32.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala3.....	89
<b>Tabela 33.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala3.....	89
<b>Tabela 34.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 3	90
<b>Tabela 35.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 3.....	90
<b>Tabela 36.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância–Sala 3	91
<b>Tabela 37.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho–Sala 3	91
<b>Tabela 38.</b>	Resultados da Fuzzyficação – Sala 3.....	92
<b>Tabela 39.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 4.....	94
<b>Tabela 40.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 4.....	95
<b>Tabela 41.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 4.	95
<b>Tabela 42.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 4.....	96
<b>Tabela 43.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância–Sala 4	96
<b>Tabela 44.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho–Sala 4	97
<b>Tabela 45.</b>	Resultados da Fuzzyficação – Sala 4.....	97
<b>Tabela 46.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 5.....	99
<b>Tabela 47.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 5.....	100
<b>Tabela 48.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 5	100
<b>Tabela 49.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 5.....	101
<b>Tabela 50.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância–Sala 5	101
<b>Tabela 51.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho–Sala 5	102
<b>Tabela 52.</b>	Resultados da Fuzzyficação – Sala 5.....	102
<b>Tabela 53.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 6.....	104
<b>Tabela 54.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de	105

	Madeira – Sala 6.....	
<b>Tabela 55.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 6	105
<b>Tabela 56.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 6.....	106
<b>Tabela 57.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Distância–Sala 6	106
<b>Tabela 58.</b>	Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho–Sala 6	107
<b>Tabela 59.</b>	Resultados da Fuzzyficação – Sala 6.....	107
<b>Tabela 60.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 1.....	110
<b>Tabela 61.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 2.....	110
<b>Tabela 62.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 3.....	110
<b>Tabela 63.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 4.....	111
<b>Tabela 64.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 5.....	111
<b>Tabela 65.</b>	Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 6.....	111
<b>Tabela 66.</b>	Síntese dos Resultados Obtidos.....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>APR</b>	=	Access Point Receptor
<b>APS</b>	=	Análise de Propagação do Sinal
<b>CRF</b>	=	Coeficiente de Reflexão de Fresnel
<b>FAF</b>	=	Floor Attenuation Factor
<b>FP</b>	=	Função de Pertinência
<b>ITU</b>	=	International Telecommunications Union
<b>MPS</b>	=	Modelo de Propagação do Sinal
<b>LF</b>	=	Lógica Fuzzy
<b>LN</b>	=	Lógica Nebulosa
<b>RSF</b>	=	Redes Sem Fio
<b>XdB</b>	=	Variável de Incerteza do Modelo de Propagação do Shadowing

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1 Contextualização.....	23
1.2 Objetivo Geral.....	25
1.3 Delimitação da Pesquisa.....	26
1.4 Estrutura desta Dissertação.....	27
<b>2. MODELOS DE PROPAGAÇÃO DO SINAIS</b> .....	29
2.1 Mecanismos de Propagação do Sinal.....	29
2.2 Classificação dos Modelos de Propagação do Sinal.....	34
2.3 Modelo de Propagação no Espaço Livre.....	37
2.4 Considerações para Estudo da Propagação em Ambientes <i>indoor</i> .....	38
2.5 Modelo de Propagação de Sinais de Shadowing.....	44
<b>3. LÓGICA NEBULOSA</b> .....	48
3.1 Introdução a Lógica Nebulosa.....	48
3.2 Definição de Lógica Nebulosa.....	49
3.3 Aplicações da Lógica Nebulosa.....	50
3.4 Características da Lógica Nebulosa.....	50
3.5 Conjuntos Nebulosos.....	51
3.5.1 Funções de Pertinência.....	52
3.5.2 Modelagem das Funções de Pertinência.....	53
3.5.3 Operações com conjuntos nebulosos.....	55
3.5.4 Relações de conjuntos nebulosos.....	57
3.5.5 Composição de relações nebulosas.....	57
3.6 Modelo de um Sistema Nebuloso.....	58
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	61
4.1 Ambiente Estudado.....	62
4.2 Caracterização das salas do ambiente de testes.....	64
4.3 O Sistema de Regras Nebulosas.....	66
4.3.1 Variáveis Nebulosas de Entrada.....	67
4.3.2 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 1 do Ambiente de Teste.....	73
4.3.3 Inferência e Variável Nebulosa de Saída.....	78
4.3.4 Aplicação de Inferência – Sala 1 do Ambiente de Teste.....	80

4.3.5 Etapa de Defuzzyficação.....	81
4.3.6 Aplicação da Defuzzyficação – Sala 1 do Ambiente de Teste.....	81
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
5.1 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 1.....	83
5.2 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 2.....	83
5.2.1 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 2 do Ambiente de Teste.....	83
5.2.2 Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 2 do Ambiente de Teste.....	86
5.2.3 Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 2 do Ambiente de Teste.....	88
5.3 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 3.....	88
5.3.1 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 3 do Ambiente de Teste.....	88
5.3.2 Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 3 do Ambiente de Teste.....	92
5.3.3 Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 3 do Ambiente de Teste.....	93
5.4 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 4.....	94
5.4.1 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 4 do Ambiente de Teste.....	94
5.4.2 Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 4 do Ambiente de Teste.....	97
5.4.3 Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 4 do Ambiente de Teste.....	98
5.5 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 5.....	99
5.5.1 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 5 do Ambiente de Teste.....	99
5.5.2 Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 5 do Ambiente de Teste.....	102
5.5.3 Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 5 do Ambiente de Teste.....	103
5.6 Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 6.....	104
5.6.1 Aplicação de Fuzzyficação – Sala 6 do Ambiente de Teste.....	104
5.6.2 Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 6 do Ambiente de Teste.....	107
5.6.3 Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 6 do Ambiente de Teste.....	109
5.7 Resultados Obtidos por Cálculo com a Ferramenta Computacional.....	109
5.7.1 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 1.....	110
5.7.2 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 2.....	110
5.7.3 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 3.....	110
5.7.4 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 4.....	111
5.7.5 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 5.....	111
5.7.6 Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 6.....	111
5.8 Síntese dos Resultados Obtidos.....	112
5.8.1 Análise de Resultados - Sala 1.....	112

5.8.2	Analise de Resultados - Sala 2.....	112
5.8.3	Analise de Resultados - Sala 3.....	113
5.8.4	Analise de Resultados - Sala 4.....	113
5.8.5	Analise de Resultados - Sala 5.....	113
5.8.6	Analise de Resultados - Sala 6.....	114
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>115</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>117</b>
	<b>ANEXO I – BASE DE REGRAS NEBULOSAS</b> .....	<b>123</b>
A1.	Base de Regras .....	124
	<b>ANEXO II – MODELAGEM E CODIFICAÇÃO DO SISTEMA</b>	
	<b>COMPUTACIONAL</b> .....	<b>131</b>
A2.1	Modelo UML de um Sistema Fuzzy.....	132
A2.2	Codificação do Sistema Fuzzy.....	133

## 1.INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Na atualidade, a demanda por serviços oferecidos sobre Redes Sem Fio (RSF), tais como comunicação de voz, dados, vídeo e videoconferência, tem se incrementado devido à evolução da indústria de Telecomunicações (RAPAPORT, 2002). Em redes sem fio, que se caracterizam por um meio de transmissão não guiado, o sinal se propaga livremente pelo espaço, podendo sofrer diferentes tipos de interferência, inclusive as causadas pelo meio (TANEMBAUM, 1996) (RAPAPORT, 2002). Considerando que a potência transmitida através do *link* se propaga em diferentes sentidos, o nível de potência do sinal se reduz conforme a distância percorrida aumenta; esta diminuição é influenciada por diversas condições do ambiente como: precipitações atmosféricas (chuva), intensidade do vento, presença de umidade no solo, etc. Além disso, o sinal também sofre interferência causada pela presença de seres humanos e da infra-estrutura material presente nas edificações e vias públicas, tais como: do tipo de material de construção, dos elementos construtivos, do material de portas e janelas, do *layout* interno dos edifícios, da quantidade e disposição de divisórias, etc. Assim, torna-se necessário medir a atenuação do sinal causada pela presença de obstáculos para que a RSF possa suportar os serviços para os quais foi inicialmente projetada (RAPAPORT, 2002).

Como citado anteriormente, alguns dos fatores que contribuem na degradação da potência do sinal são dados pelas condições ambientais e de infra-estrutura, que tem que ser contemplados adequadamente para fins de cálculo da potência de recepção do sinal, através de um modelo de propagação do sinal (MPS) que os leve em consideração. Na literatura atual são apresentados vários MPS, desenvolvidos tanto para ambientes *indoor* como *outdoor*, dentre os quais podemos citar: MPS de Log. Distance, MPS de Shadowing, MPS Okamura-Hata, entre outros, tendo cada um deles certas características que os fazem serem escolhidos para diferentes tipos de aplicações (RAPAPORT, 2002) (HASHEMI, 1993), (HOLMA;TOSKALA, 2001), (SKLAR,1997).

Dentre os modelos mencionados acima, o MPS de *Shadowing* é recomendado para a planificação de uma RSF para ambientes *indoor* e se diferencia dos demais porque considera a atenuação sofrida pelo sinal através de seu percurso por diferentes ambientes, cujo valor está relacionado a um parâmetro Beta ( $\beta$ ), como também, a uma variável aleatória log-normal  $X_{dB}$  com média zero, que expressa a incerteza do sinal recebido em cada ponto (RAPPAPORT, 2002), (DE SOUZA LUZ, 2008):

$$\left[ \frac{P_{RX}(d)}{P_{RX}(d_0)} \right]_{dB} = -10 \log \beta \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dB} \dots\dots\dots(1)$$

Onde:

- $P_{RX}(d)$  representa a potência de recepção a uma distância  $d$ ;
- $P_{RX}(d_0)$  representa a potência de recepção a uma distância  $d_0$ ;
- $\beta$  é o expoente de perda de percurso e representa a obstrução ocasionada pelo ambiente;
- $X_{dB}$  é uma variável aleatória com distribuição gaussiana de média zero e desvio padrão  $\sigma$  os quais são expressados em dB.

Assim, considerando que em um enlace sem fio os obstáculos criados pelas condições ambientais e de infra-estrutura para o tráfego do sinal ocasionam a distorção do mesmo, foi adotado, neste trabalho, o MPS de *Shadowing* como o modelo de propagação do sinal.

A avaliação do impacto relacionado às características ambientais e de infra-estrutura na degradação da potência do sinal torna-se muito importante para que o *link* possa ser planejado coerentemente. Uma vez que esses fatores são de natureza não determinística, faz-se necessária a utilização de uma ferramenta que viabilize o tratamento deste tipo de variáveis a fim de se determinar, quantitativamente, o grau de atenuação que estas acarretam para o cálculo da potência de recepção.

A Lógica *Fuzzy* (LF) ou Lógica Nebulosa (LN) tem sido adotada nas últimas décadas como proposta para tratamento de variáveis que contêm informações vagas, ambíguas e imprecisas. A sua aplicabilidade se estende a diversas áreas tecnológicas, como sistemas de otimização, mecânicos, controladores e sistemas de automação (ZADEH, 1965) (PASSINO; YURKOVICH, 1998), onde o conhecimento inerente à dinâmica da aplicação foi expresso através de um conjunto de base de regras lingüísticas para resolver problemas complexos que contêm variáveis imprecisas. Sua capacidade de representar a imprecisão em conjuntos tratáveis matemática e computacionalmente torna a Lógica Nebulosa atrativa para problemas com alto grau de imprecisão quanto ao cenário da aplicação, tal como o problema da determinação dos fatores de atenuação do sinal em diferentes tipos de ambientes.

## 1.2. Objetivo Geral

Este trabalho trata da análise da atenuação de sinal em ambientes *indoor* utilizando a Lógica Nebulosa e o Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing (MPSS).

O objetivo geral desta pesquisa é prover um arcabouço, através da aplicação de Lógica Nebulosa, para a Análise de Propagação do Sinal (APS) em ambientes *indoor*, através da determinação por inferência nebulosa do valor do parâmetro Beta ( $\beta$ ) do Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing.

Com a aplicação da LN é possível obter o valor da variável de perda de percurso  $\beta$ , que represente com maior especificação a atenuação ocasionada pelo meio e os obstáculos nele presentes, caracterizando de forma mais detalhada o ambiente em estudo e o impacto dos fatores que afetam na degradação do sinal.

Também, se simplificará, do ponto de vista de esforço computacional e empírico, o processo de caracterização do ambiente *indoor*, necessário para o cálculo da variável  $\beta$  de perda de percurso no MPSS.

### 1.3. Delimitação da Pesquisa

Esta pesquisa está focada no estudo de Análise de Atenuação de Sinal para ambientes *indoor*, através da aplicação de LN para o cálculo da variável Beta ( $\beta$ ) do Modelo de Propagação do Sinal de Shadowing.

Em relação ao tipo de ambiente *indoor* estudado, está limitado a salas de aulas de Universidades as quais se encontram em um mesmo andar, fisicamente contíguas e separadas por divisórias de madeira ou paredes de alvenaria. Assim também, o estudo foi feito sem presença de alunos no local para evitar distorção da potência do sinal pela presença de indivíduos.

Com relação ao MPS de Shadowing, o parâmetro Beta ( $\beta$ ) que caracteriza o tipo de ambiente onde está se propagando o sinal, será determinado através da aplicação de Lógica Nebulosa. Todos os demais parâmetros da equação vão ser tratados como indica o modelo.

Sobre a aplicação da LN, esta vai ser desenvolvida usando o Modelo de Controlador Fuzzy descrito em Passino e Yurkovich (1998). Assim, para a modelagem das funções de pertinência serão usadas as de forma Triangular, devido ao fato de que os dados de entrada apresentam um comportamento discreto e cada um destes ocasiona um diferente impacto na variável de saída. Do mesmo modo, para a realização do processo de Inferência vai ser usado o método de Mandani (min.), uma vez que, de acordo com Passino e Yurkovich (1998) **é de simples utilização**. Cabe salientar que a base de regras criada para este modelo utilizará, como informação de entrada, os dados coletados no trabalho desenvolvido por Branquinho *et al.* (2005). Além disso, no processo de defuzzyficação, serão empregados dois métodos: o primeiro é do Centro de Gravidade e o segundo dos Médios Máximos (PASSINO; YURKOVICH 1998).

#### 1.4. Estrutura desta Dissertação

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O **Capítulo 1** corresponde à introdução desta dissertação. Nesse sentido, realiza-se uma introdução ao tema a ser abordado neste trabalho. Também são detalhados os objetivos traçados para a pesquisa e o âmbito da mesma é delimitado.

O **Capítulo 2** aborda os aspectos teóricos relacionados aos Modelos de Propagação de Sinais existentes na literatura, com a finalidade de se delimitar as vantagens e desvantagens e as características principais de cada um dos mesmos. São detalhadas, também, as considerações que devem ser realizadas para calcular a potência do sinal de recepção em um ambiente *indoor*. São descritos, ainda, os mecanismos de propagação do sinal e, finalmente, se faz uma revisão do MPS de Shadowing que será utilizado neste trabalho.

O **Capítulo 3** trata da Lógica Nebulosa, citando suas principais definições, características e apresentando uma revisão histórica de suas aplicações e uma introdução aos principais conceitos como conjuntos nebulosos, funções de pertinência, variáveis lingüísticas, valores lingüísticos, operações entre conjuntos, relações de implicação, entre outros. Cabe destacar que a parte mais importante deste capítulo é a apresentação de um Modelo de Controlador Nebuloso, onde se detalha cada parte do processo de um Sistema Nebuloso e se apresentam os processos de fuzzyficação, inferência e defuzzyficação.

O **Capítulo 4** aborda a metodologia utilizada neste trabalho, baseada, principalmente, no Modelo de Controlador Nebuloso, descrevendo como se realizam os processos de fuzzyficação, inferência e defuzzyficação. São

exemplificados os passos descritos nesta metodologia usando como dados de entrada os valores coletados na Sala 1 do Ambiente de Testes.

O **Capítulo 5** trata da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 4 para todas as salas do ambiente de testes (de 1 até 6). Ao final, são apresentados os resultados obtidos tanto através do cálculo manual utilizando os métodos de defuzzyficação de Centro de Gravidade e Médios Máximos, como através de um software que tem implementado as funções de um sistema de Lógica Nebulosa. Os resultados foram comparados a medições reais, tendo sido feita uma análise dos mesmos.

O **Capítulo 6** apresenta as conclusões deste trabalho, onde se destaca que a Lógica Nebulosa pode oferecer um mecanismo simples para análise de atenuação do sinal, fornecendo resultados satisfatórios.

## 2. Modelos de Propagação do Sinal

A determinação da potência de recepção do sinal de um enlace sem fio é de suma importância, pois permitirá realizar um planejamento real da rede, identificando a área de cobertura que esta poderá alcançar para oferecer os serviços para os quais foi projetada (HASHEMI, 1993).

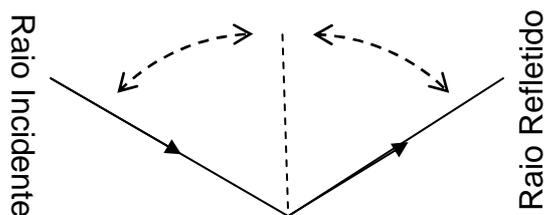
Para o cálculo da potência de sinal de recepção de uma rede sem fio de forma confiável devem ser considerados os mecanismos de propagação aos quais o sinal está sujeito durante o seu percurso desde o transmissor até o receptor. Estes determinam a atenuação de propagação no enlace e, em consequência, o valor médio da potência do sinal no receptor.

### 2.1. Mecanismos de Propagação do Sinal

A propagação do sinal de rádio é afetada principalmente pelos seguintes mecanismos: reflexão, difração e espelhamento (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004)

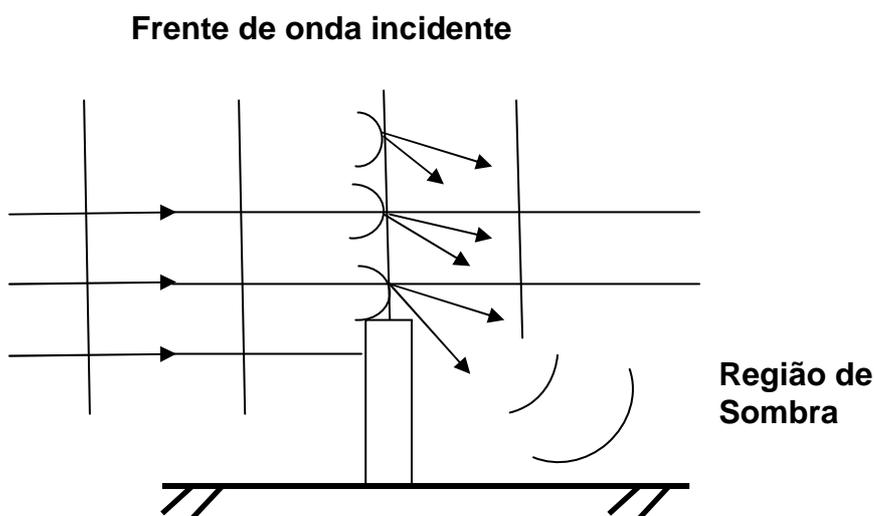
- **Reflexão:** a reflexão ocorre quando uma onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio onde estava se propagando (DA SILVA, 2009). Em um ambiente construído, estes obstáculos podem ser, por exemplo: paredes, portas e divisórias. A reflexão pode ser de dois tipos: **regular**, quando as ondas incidem sobre superfícies lisas, e **difusa**, quando incidem sobre superfícies irregulares. As ondas refletidas podem interferir construtivamente ou destrutivamente no receptor.

A relação entre a intensidade do campo elétrico das ondas refletidas e transmitidas com a onda incidente no meio de origem é dada pelo Coeficiente de Reflexão de Fresnel (CRF) (RAPPAPORT, 2002), e depende das propriedades do material, polarização, ângulo de incidência e a frequência da propagação de onda segundo ANDERSON *et al.* (1995). A Figura 01 ilustra o mecanismo de reflexão.



**Figura 01: Reflexão de Ondas**

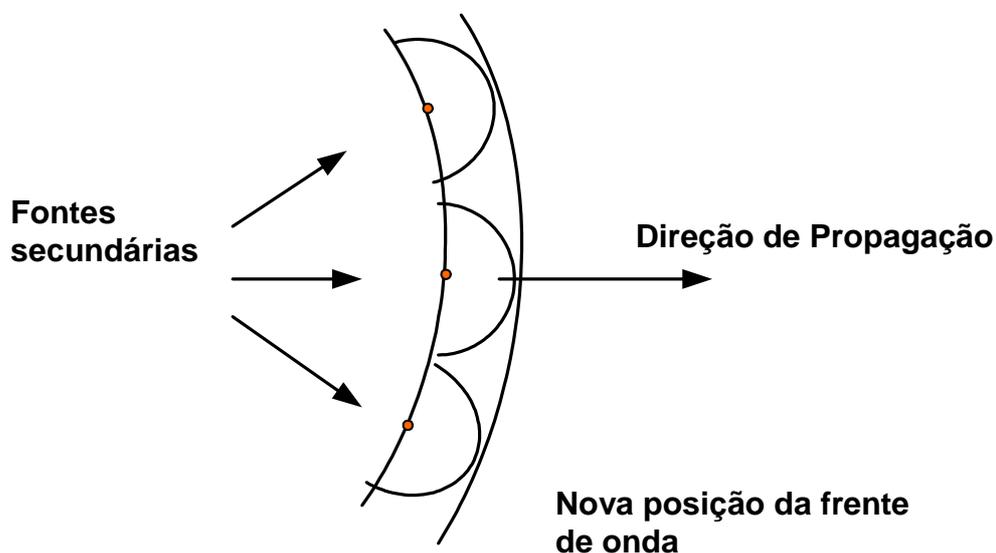
- **Difração:** ocorre quando a onda passa por um obstáculo cujo tamanho é da mesma ordem do comprimento de onda. Segundo Bosquetti e Marega (2009), é definida como a curvatura que uma onda faz ao passar por um obstáculo, a qual depende da forma e das dimensões do mesmo. Em altas frequências, este mecanismo depende da forma do objeto, amplitude, fase e polarização da onda incidente no ponto de difração (RAPPAPORT, 2002), (DA COSTA, 2000). A Figura 02 ilustra o mecanismo de refração.



**Figura 02: Obstrução de Onda Propagante por um Obstáculo**

A difração permite que o sinal se propague por trás dos obstáculos. Apesar de a intensidade do sinal recebido diminuir quando o receptor se aproxima da zona sombreada, o campo de difração persiste e frequentemente tem força suficiente para produzir um sinal útil (RAPPAPORT, 2002). Diz-se que uma rede sem fio se encontra em zona sombreada quando existe um obstáculo bloqueando o passo do sinal até o Access Point Receptor (APR).

Concomitantemente, deve-se considerar também o exposto pelo princípio de Huygen: “*Todos os pontos em uma onda podem ser considerados como fontes para a produção de ondas secundárias, e estas ondas se combinam para produzir uma nova onda na direção de propagação*” (RAPPAPORT, 2002), (DA COSTA, 2000). A difração é causada pela propagação de ondas secundárias em uma região sombreada. A intensidade do campo de uma onda difratada na região sombreada é a soma vetorial dos componentes do campo elétrico de todas as ondas secundárias no espaço em torno do obstáculo (RAPPAPORT, 2002). A Figura 03 ilustra o Princípio de Huygens.



**Figura 03: Princípio de Huygens**

- **Espalhamento:** o espalhamento ocorre quando as ondas eletromagnéticas se encontram com obstáculos com tamanhos da mesma dimensão ou menores do que seus comprimentos de ondas. O espalhamento obedece aos mesmos princípios físicos da difração espalhando a energia do sinal do transmissor em muitas direções.

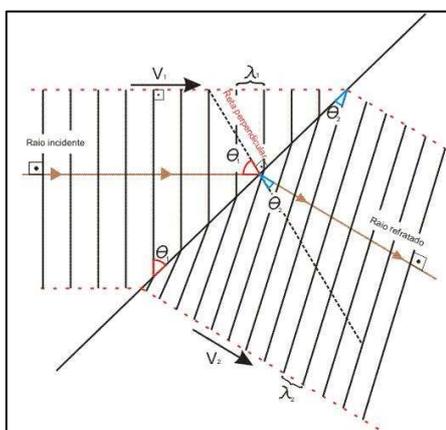
A composição dos três fenômenos apresentados anteriormente permite que exista recepção de sinal em lugares onde não há visada direta, ou seja, onde se tem presença de obstáculos no caminho entre transmissor e receptor. Essa recepção em zonas sombreadas se deve principalmente ao espalhamento e à difração.

Outro mecanismo que pode estar presente na propagação do sinal é:

- **Refração:** consiste numa mudança da direção do sinal quando esta passa de um meio para outro de características distintas. Obedece duas leis que são (SO FISICA, 2009):
  - **1ª Lei da Refração:** “O raio incidente, a reta perpendicular à fronteira no ponto de incidência e o raio refratado estão contidos no mesmo plano”.
  - **Lei de Snell:** Relaciona os ângulos, as velocidades e os comprimentos de onda de incidência de refração através da seguinte expressão:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \dots \dots \dots (2)$$

A Figura 04 ilustra o fenômeno de refração de ondas, onde:  $\theta_1$  é o ângulo do raio incidente à reta perpendicular,  $\theta_2$  é o ângulo do raio refratado à reta perpendicular,  $v_1$  é a velocidade de onda incidente,  $v_2$  é a velocidade de onda refratada,  $\lambda_1$  é o comprimento de onda incidente e  $\lambda_2$  é o comprimento de onda refratada.

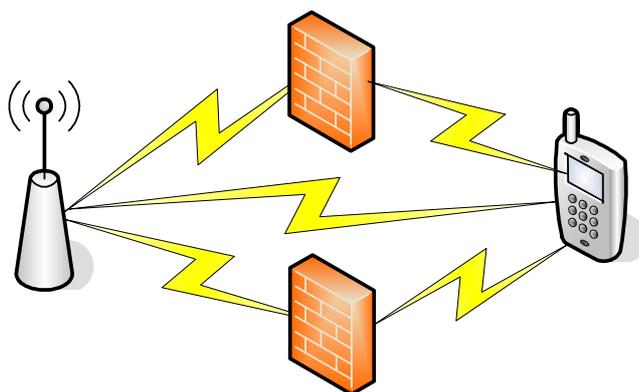


**Figura 04: Refração de Ondas**

(<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/refracao.php>)

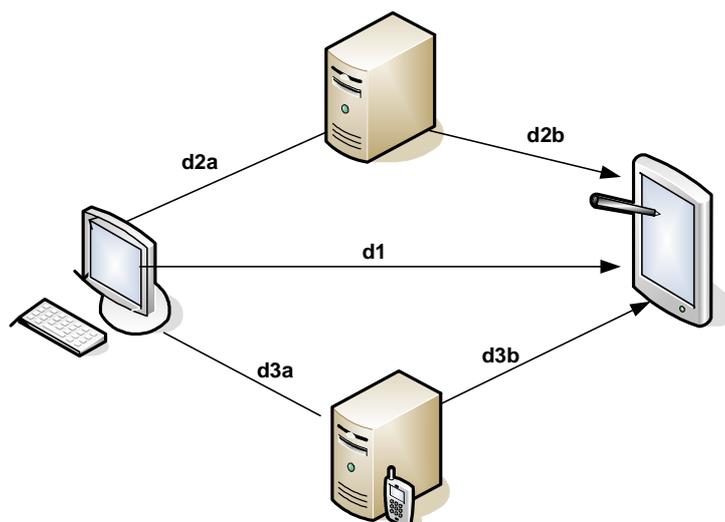
Para o planejamento de uma rede sem fio é necessário que se verifique a consistência da linha de visada entre todos os elementos do enlace, ou seja, se não existem obstáculos presentes em relação à propagação do sinal. Desta maneira, deve-se considerar que a potência de recepção pode estar influenciada pela distância e dispersão.

- **Influência da distância:** à medida que o sinal se propaga pelo meio, perde intensidade devido à atenuação causada por diferentes fatores e à distância que percorre. Quando o sinal passa por uma região sem presença de obstrução (sem obstáculos), se diz que se propaga no espaço livre. Neste caso, a potência de recepção é uma função que depende diretamente da distância entre o transmissor e receptor, decaindo na razão do quadrado dessa distância. Contudo, em um meio sem linha de visada direta (com obstrução), a relação da atenuação com a distância aumenta significativamente, podendo alcançar uma taxa de decaimento proporcional à quarta ou à quinta potência da distância que separa transmissor e receptor (NAJNUDEL, 2004)
- **Influência da dispersão:** ocorre devido ao desvanecimento do sinal por multipercursos ou multicaminhos. Quando o sinal é transmitido, este pode seguir diversos caminhos até chegar ao receptor, pois o sinal é usualmente enviado em diferentes direções uma vez que não há conhecimento a priori do posicionamento relativo entre transmissor e receptor. Isto faz com que réplicas do sinal cheguem ao receptor em diferentes instantes de tempo. A Figura 05 ilustra o efeito de multipercursos.



**Figura 05: Efeito de Multipercursos**

Quando se tem a presença de obstrução no meio, pode ocorrer também a reflexão do sinal para o receptor, ocasionando distorção do sinal original também pelo fenômeno de multipercurso (HALFORD; WEBSTER, 2001) (RAPPAPORT, 2002). A Figura 06 ilustra o efeito de multipercursos em um ambiente *indoor*.



**Figura 06: Multipercursos em um Ambiente *Indoor***

Em suma, para o planejamento de um enlace sem fio, é necessário considerar todos os fatores, descritos anteriormente, que influenciam a propagação do sinal. Assim, os modelos de propagação devem aproximar a realidade de maneira precisa o suficiente para proporcionar resultados úteis para o planejamento da rede.

## 2.2. Classificação dos Modelos de Propagação do Sinal

Pelo exposto até o momento, para prever o comportamento do sinal no contexto de um ambiente específico *indoor* é importante empregar modelos de propagação que considerem a topologia do meio, a forma física dos objetos, o tamanho, tipos de materiais utilizados e a distribuição dos móveis. Em relação a esse ponto, os modelos de propagação podem ser classificados como (RAPPAPORT, 2002), (MEDEIROS, 2004) (KEENAN; MOTLEY, 1990) (MIKAS *et al.*, 2003):

- **Larga Escala:** também denominados de modelos de somreamento, são utilizados para prever a potência média do sinal quando existe uma distância

fixa entre o transmissor e o receptor. Leva em consideração a geometria do ambiente, obstruções, paredes, divisórias, objetos, entre outros. Este modelo é útil para determinar as áreas de cobertura da rede.

- **Pequena Escala:** também denominados de modelos de desvanecimento, representam as variações rápidas da potência do sinal de recepção em distâncias ou tempos pequenos. O desvanecimento é causado pelo efeito do multipercurso.

A Figura 07 ilustra as variações entre estes dois tipos de modelo:

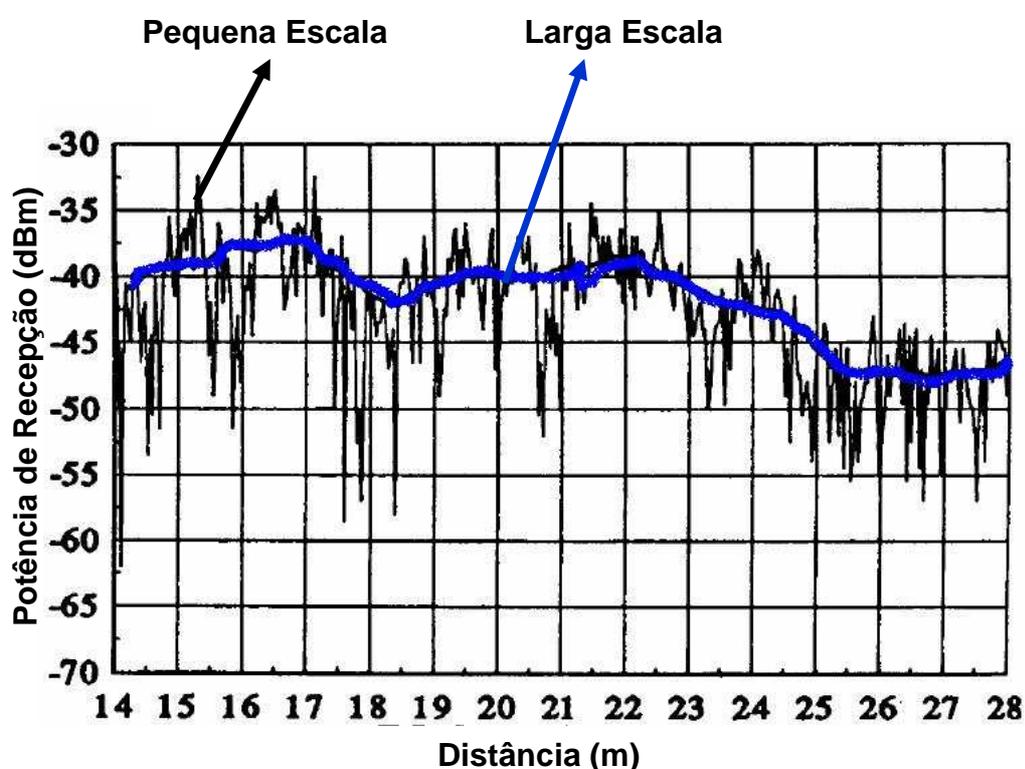


Figura 07: Variações entre Larga e Pequena Escala (RAPPAPORT, 2002)

Na figura 07 é apresentada a medição da recepção do sinal em função da distância, com destaque para a variabilidade de larga escala, representada pela linha de cor azul, e para a variabilidade de pequena escala, que são as flutuações em torno da linha azul.

A aplicação de um modelo de propagação está ligada ao tipo de ambiente onde o

sinal vai ser propagar. Na literatura, existem diversos modelos que permitem estimar a potência do sinal de recepção para os diferentes tipos de ambientes, sejam *indoor* ou *outdoor* (RAPPAPORT, 2002), (HASHEMI, 1993) (MEDEIROS, 2004) (KEENAN; MOTLEY, 1990) (MIKAS *ET al.*, 2003) (DAMOSO; COST ACTION 231; 1999). Esta estimação pode se dar de forma empírica ou de forma determinística, dependendo de como são consideradas certas características particulares destes ambientes.

Os modelos empíricos surgiram a partir de uma coleta de medições realizadas em uma ou varias regiões, cujos resultados foram depois modelados através de expressões matemáticas específicas que fornecem o valor médio da atenuação. Estes modelos são de fácil aplicação e contemplam a maioria dos fatores que afetam a propagação do sinal; porém, uma vez que as medições das quais se originam se referem a locais específicos, tendem a não fornecer resultados precisos ou confiáveis quando são aplicados a locais diferentes de onde foram feitas as medidas. Dentre estes modelos podemos mencionar: Modelo de Log-Distância, Modelo de Egli, Modelo de Okumura-Hata, Modelo de Ecerg, Modelo de COST-231- Ikegami-Walfisch, Modelo de Seidel – Rappaport, Modelo de ITU-R-P.1238-1 e o Modelo Multi-Wall (RAPPAPORT, 2002), (HASHEMI, 1993) (MEDEIROS, 2004) (KEENAN; MOTLEY, 1990) (SCHNEIDER *et al.*, 1996) (ITU-R P.1238-1, 1999) (COST 231, 1999) (SARKAR, 2003) .

Por outro lado, os modelos determinísticos dependem de bases de dados geográficos, da topologia do meio, das características físicas do terreno. Estes tipos de modelos predizem com maior precisão o comportamento do sinal ao longo da sua transmissão desde o receptor até o transmissor. Como exemplos deste tipo podem ser mencionados: Modelo de Espaço Livre (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004), Modelo de Shadowing (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004), Modelo de Traçado de Raios (Ray Tracing) (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004) (SARKAR, 2003), Modelo de 2 Raios e Modelo de 6 Raios (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004) (DA COSTA, 2000) (NAJNUDEL, 2004).

### 2.3. Modelo de Propagação no Espaço Livre

Esse modelo é usado para estimar a potência de sinal de recepção quando existe linha de visada, ou seja, quando não tem obstáculos presentes entre o transmissor e o receptor (RAPPAPORT, 2002) (MEDEIROS, 2004) (BRANQUINHO, 2009). Este cálculo é realizado em função da distância entre o transmissor e o receptor e é dado pela equação de Friss conforme a expressão a seguir.

$$P_{RX}(d) = \frac{P_{TX} * G_{TX} * G_{RX} * \lambda^2}{(4\pi)^2 * d^2 * L} \dots\dots\dots(3)$$

Onde:

$P_{RX}$  = Potência de Recepção;

$P_{TX}$  = Potência de Transmissão;

$G_{TX}$  = Ganho da Antena de Transmissão;

$G_{RX}$  = Ganho da Antena de Recepção;

$d$  = Distância entre o Transmissor e Receptor;

$\lambda$  = Comprimento de onda;

$L$  = Atenuação no Espaço Livre.

Entretanto, essa equação não se verifica na presença de obstáculos ou em ambientes com forte presença de elementos construtivos. Uma vez que este trabalho visa o estudo da propagação do sinal em ambientes *indoor*, serão apresentadas, a seguir, as considerações que devem ser enfatizadas na predição do sinal para esse tipo de ambiente.

## 2.4. Considerações para Estudo da Propagação em Ambientes *indoor*

Além dos mecanismos de propagação de sinal descritos anteriormente (reflexão, difração e espelhamento, influência da distância e dispersão), a propagação do sinal em ambientes *indoor* também se vê impactada pela natureza dos materiais empregados nos ambientes construídos e pelas características arquitetônicas dos mesmos, dentre as quais pode-se destacar:

- Tipo dos materiais de construção da edificação;
- Móveis com que são equipados os ambientes;
- Presença e tipo de divisórias e aberturas (janelas, portas, etc.);
- Taxa de ocupação da edificação ao longo do dia (movimentação de pessoas);
- Número e natureza dos pavimentos da edificação.

Diversos estudos sobre propagação em ambientes *indoor* foram feitos com a finalidade de poder medir o impacto que tem os fatores mencionados acima na atenuação do sinal de recepção (HASHEMI, 1993), (ITU-R P.1238, 2004), (RUDD, 2002), (MENEZES, 2004) (ZHANG; HWANG, 1994) (YARKONI; BLAUNSTEIN, 2006)

Um ponto que se deve destacar está relacionado às paredes, pisos e divisórias que são compostos por materiais com grande capacidade de reflexão do sinal, provocando sua atenuação (Damosso; COST Action 231, 1999). Cada tipo de material apresenta um fator de atenuação diferente. A European COST 231 realizou estudos sobre a perda de penetração para ambientes *indoor*, cujos resultados são utilizados nos Modelos COST 231 Keenan e Motley e no modelo Multi-Paredes. A título de ilustração, os valores medidos para uma frequência de 2.4 GHz estão apresentados na Tabela 01 (BREEZENET, 1998).

Tabela 01: Perdas de Penetração por Obstrução (BREEZENET, 1998)

Obstáculo	Perda [dB]
Espaço Livre	0
Janela (tinta não metálica)	3
Janela (tinta metálica)	5 a 8
Parede fina (madeira)	5 a 8
Parede média (madeira)	10
Parede espessa (espessura aprox. 15 cm)	15 a 20
Parede muito espessa (espessura aprox. 30 cm)	20 a 25
Piso/Teto espesso	15 a 20
Piso/Teto muito espesso	20 a 25

Em relação a essa tabela, pode-se observar que quanto mais espesso é o obstáculo, maior é a perda imposta ao sinal. Analogamente, as janelas que possuem tinta metálica provocam maior perda do que as que não contam com esse tipo de revestimento (BREEZENET, 1998) (NAJNUDEL, 2004).

Existem modelos empíricos que se baseiam nas medições apresentadas na tabela anterior para o cálculo da atenuação do sinal provocada por estes elementos. Dentre estes, pode-se destacar:

- **Modelo de COST-231:** esse modelo considera um componente linear de perda, proporcional ao número de paredes penetradas, e outro componente que depende da quantidade de andares penetrados, produzindo uma perda que se incrementa lentamente com o aumento do número de andares depois

que o primeiro foi adicionado (MONTEIRO *et al.*, 2000). Esse modelo pode ser representado pela expressão 04:

$$L_T = L_F + L_C + \sum_{i=1}^w L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{\left(\frac{n_f+2}{n_f+1} - b\right)} \dots \dots \dots (4)$$

Onde:

$L_T$  = Perda total (em dB);

$L_F$  = Perda em espaço livre para o percurso em linha de visada entre o transmissor e receptor (em dB);

$L_C$  = Constante obtida empiricamente;

$L_{wi}$  = Perda de penetração para uma parede de tipo  $i$  (em dB);

$n_{wi}$  = Número de paredes de tipo  $i$  atravessadas pelo percurso direto;

$L_f$  = Perda por andar (em dB);

$n_f$  = Número de pisos atravessados pelo percurso;

$b$  = Constante obtida empiricamente.

- **Modelo de Seidel – Rappaport:** apresenta um fator de ajuste entre andares denominado FLOOR ATTENUATION FACTOR – FAF (fator de ajuste entre andares) o qual se refere à perda da potência entre andares devido ao tipo de construção do prédio, materiais da edificação, estrutura e dimensões do mesmo (RAPPAPORT, 2002) (ANDERSEN, 1995). Esse modelo pode ser representado pela seguinte expressão:

$$L = -27,56 + 20 \log_{10}(f) + (20 - 10n) \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + (10n) \log_{10}(d) + \text{FAF} \dots (5)$$

Onde:

L = Perda Total (em dB);

f = Frequencia (em MHz);

n= Expoente de perda de propagação;

d= Distância percorrida (em metros);

d<sub>0</sub>= Distância de referência (em metros);

FAF = Fator de atenuação entre andares.

- **Modelo ITU-R P.1238-1:** proposto pela International Telecommunications Union (ITU) propõe um modelo para predição do sinal em ambientes *indoor* que operem nas faixas de frequência entre 900 MHz e 100 GHz. Este modelo considera que a atenuação é dependente da distância e dos obstáculos que se encontram no percurso do sinal. Além disso, considera a atenuação causada pelos pavimentos (ITU-R P.1238-1, 2004) (GROSSKOPF, 2007) (NAJNUDEL, 2004). Esse modelo pode ser representado pela expressão 06:

$$L = 20 \log_{10}(f) + n \log_{10}(d) + L_f(k_f) - 28 \dots \dots \dots (6)$$

Onde:

L = Perda Total (em dB);

f= Frequência de operação (em MHz);

n= Coeficiente de atenuação com a distância;

d= Distância percorrida (em metros);

$k_f$ = Quantidade de pavimentos;

$L_f$ = Coeficiente de atenuação por pavimento atravessado (em dB).

A ITU-R P.1238 propôs os valores para o coeficiente de atenuação com a distância “ $n$ ”. Esses valores encontram-se na referência (ITU-R P.1238-1, 2004).

- **Modelo Multi Wall:** este modelo conhecido como múltiplas paredes, considera a atenuação causada pelas paredes e pavimentos no trajeto do sinal desde o transmissor até o receptor (SANCHES, 2005). A expressão 07 representa este modelo:

$$L = L_{d_0} + 10n \log_{10}(d) + KF_1 + \sum_{i=1}^M A_i \dots \dots \dots (7)$$

Onde:

$L$  = Perda Total (em dB);

$L_{d_0}$  = Perda em dB de propagação de referência a um metro de distância;

$D$  = Distância percorrida (em metros);

$K$  = Número de pavimentos penetrados;

$F_1$  = Fator de atenuação entre pisos adjacentes [dB];

$M$  = Número de paredes entre o transmissor e o receptor;

$A_i$  = Fator de atenuação nas paredes do tipo  $i$  [dB] (paredes leves ou pesadas).

De uma maneira geral, estes modelos consideram principalmente a obstrução ocasionada pelas paredes, colunas e andares, mas não contemplam a atenuação causada pelos objetos, armários e janelas que se encontram dentro da edificação. Nesse sentido, desconsideram as aberturas da edificação, que é modelada no seu estado desocupado, o que não condiz com as condições reais de operação do enlace.

Estudos demonstram que a presença de objetos dentro do meio de propagação impacta consideravelmente na potência de recepção (BREEZENET, 1998). A Tabela 02 apresenta os resultados obtidos em medições feitas sob uma frequência de 2.4 GHz em uma sala com seis divisórias, gabinetes metálicos e mesas. (LOPES, 2004)

**Tabela 02: Perdas de Penetração em Obstáculos (LOPES, 2004)**

<b>Obstáculo</b>	<b>Perda [dB]</b>
<b>Porta de madeira enquadrada em parede de tijolo</b>	6,6
<b>Porta dupla de madeira enquadrada em parede de tijolo</b>	1
<b>Porta de fibra</b>	2,7
<b>Janela de vidro simples</b>	4,5
<b>Janela de vidro duplo</b>	6,4
<b>Parede de tijolo (espessura de 14cm)</b>	11,8
<b>Armário metálico (altura de 1,5m)</b>	14,4
<b>Armário metálico (altura de 2m)</b>	23,7
<b>Parede blindada a radiação eletromagnética</b>	20,5
<b>Piso de betão com teto falso metálico</b>	78

Esses dados demonstram que a presença de armários metálicos dentro do ambiente ocasiona perda significativa na potência do sinal recebido.

Deve-se considerar ainda que a propagação em ambientes *indoor* não é estática nem no espaço nem no tempo, apresentando variações dinâmicas causadas pela movimentação de pessoas e equipamentos em torno das antenas; nesses casos, a propagação também é caracterizada por altas perdas do sinal mudando consideravelmente em distâncias curtas (HASHEMI, 1993).

Pelo exposto anteriormente, é necessário realizar uma correta caracterização do ambiente, para viabilizar a estimação adequada da atenuação do sinal criada pelo conjunto total de obstáculos encontrados no seu percurso desde o transmissor até o receptor.

Um dos modelos que considera o fator de atenuação criado pelo ambiente é o Modelo de Propagação de Sinais de Shadowing, apresentado a seguir.

## 2.5. Modelo de Propagação de Sinais de Shadowing

Conforme citado em MATEUS (1998), a propagação do sinal em ambientes *indoor* é altamente influenciada por fatores como: *layout* do edifício, material de construção e tipo de edificação. Porém, nem todos os obstáculos geram a mesma atenuação; cada um deles impacta de modo distinto na atenuação do sinal.

Um dos MPS presentes na literatura para prever a potência do sinal de recepção é o MPS de Shadowing, o qual não só considera a distância como fator para calcular a potência de recepção, como também os obstáculos encontrados durante o percurso do sinal desde o transmissor até o receptor.

Este parâmetro para caracterização da atenuação devido aos obstáculos do meio é representado pela variável **Beta** ( $\beta$ ) presente na equação do modelo de Shadowing. Esse modelo pode ser representado pela expressão 08:

$$\left[ \frac{P_R(d)}{P_R(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dB} \dots \dots \dots (8)$$

Onde:

- $P_R(d)$  representa a potência de recepção a uma distância  $d$ ;
- $P_R(d_0)$  representa a potência de recepção a uma distância de referência  $d_0$ ;
- $\beta$  (que é um expoente de perda de percurso) representa a obstrução ocasionada pelo ambiente;

- $X_{dB}$  é uma variável aleatória com distribuição gaussiana de média zero e desvio padrão  $\sigma$  os quais são expressos em dB.

Esta equação consta de duas partes, uma determinística e outra aleatória, sendo que a primeira é função da distância, enquanto a segunda varia aleatoriamente com distribuição log-normal (BRANQUINHO, 2009).

A variável  $P_R(d_0)$ , segundo RAPPAPORT(2002), pode ser tratada como atenuação no espaço livre através da equação de Friss descrita no item 2.3 (DE SOUZA LUZ, 2008) (RAPPAPORT, 2002).

Para caracterizar a atenuação em diferentes ambientes, é utilizado o expoente de perda de percurso  $\beta$ . Em Rappaport (2002), é apresentada uma classificação para os valores de  $\beta$  em ambientes com obstrução e sem obstrução, conforme a Tabela 03:

**Tabela 03:** Valores de  $\beta$  para ambientes *indoor* e *outdoor* (RAPPAPORT,2002)

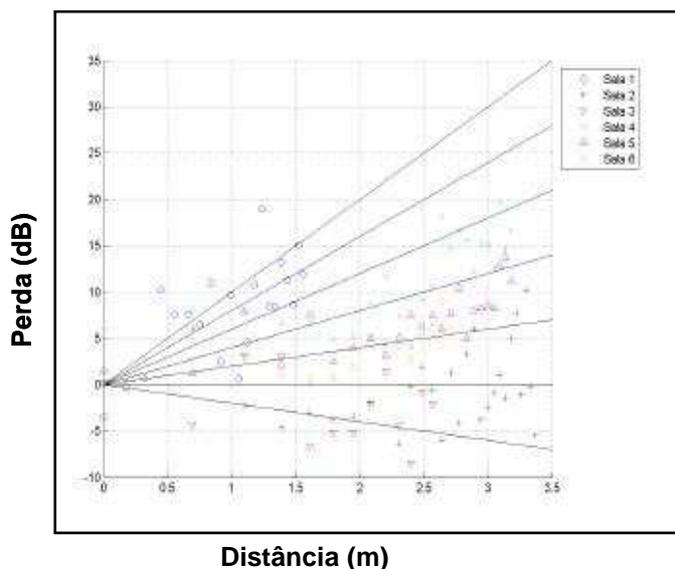
Ambiente	$\beta$
Espaço Livre	2
Ambiente Urbano	2.7 – 3.5
Ambiente Urbano denso	3 - 5
Linha de Visada em Edifícios	1,6 – 1,8
Obstrução em Edifícios	4 – 6
Obstrução em Fábricas	2 – 3

A operação em linha de visada em edifícios consiste em garantir que não existam obstáculos entre o transmissor e receptor dentro da primeira zona de fresnel (zonas volumétricas elipsoidais em torno do eixo de visada direta entre o transmissor e receptor) (LIRA, 2008).

O expoente de perda de percurso  $\beta$  também pode ser expresso como um expoente da relação das distâncias ( $d$ ) e ( $d_0$ ), conforme a expressão 09:

$$\frac{P_R(d)}{P_R(d_0)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta \dots\dots\dots (9)$$

A atenuação define uma reta cuja inclinação representa o fator  $\beta$ , a qual afeta a taxa de transmissão com a qual a rede vai operar, conforme ilustra a Figura 08.



**Figura 08: Atenuação por Distância (BRANQUINHO *et al.*, 2006)**

O efeito de sombreamento randômico ocasionado por diferentes graus de atenuação na transmissão do sinal em locais com igual distância de separação entre o transmissor e receptor é descrita por uma distribuição Log-Normal (RAPPAPORT, 2002).

Em outras palavras, o fator de atenuação  $\beta$  é um parâmetro que pode ser medido nas condições de operação da rede e que pode se alterar quando existem variações no ambiente.

A Tabela 04, extraída de Rappaport (2002), apresenta os valores de desvio padrão  $\sigma$  da log-normal em função do ambiente.

**Tabela 04:** Desvio padrão  $\sigma$  da Log-Normal em função do ambiente

Ambiente	$\sigma$ (dB)
Ambiente Exterior	4 a 12
Oficina, hard partition	7
Oficina, soft partition	9,6
Fábrica, linha de visada	3 a 6
Fábrica, obstrução	6,8

De acordo com o exposto anteriormente, para o cálculo da potência de recepção do sinal é necessário levar em conta a atenuação criada pelos obstáculos dentro do ambiente. Existe na literatura uma classificação para o  $\beta$  descrita em Rappaport (2002).

A classificação para ambientes *indoor* dada por Rappaport (2002) faz só uma diferenciação entre locais com linha de visada para o qual associa a  $\beta$  valores entre 1.6 e 1.8; e com obstrução, podendo  $\beta$  assumir um valor entre 2 e 6 dependendo se for fábrica, edifício ou zona urbana. Mas para poder obter um valor de  $\beta$  mais próximo da caracterização real do ambiente, é necessário contemplar todas as variáveis com maior impacto dentro da atenuação do sinal, sendo que usar modelos matemáticos para descrever este fator poderia se tornar muito complexo devido à natureza das variáveis envolvidas.

Nesse contexto, a Lógica Nebulosa tem se configurado como uma ferramenta poderosa para resolver problemas complexos onde as informações se apresentam de forma incompleta, vaga, ambígua e imprecisa (PASSINO;YURKOVICH, 1997).

Pelo exposto, o uso da Lógica Nebulosa ofereceria um mecanismo simples para calcular o expoente de perda de percurso (parâmetro  $\beta$ ), que qualifica a atenuação presente em um ambiente gerada pelos diversos obstáculos.

### 3. LÓGICA NEBULOSA

#### 3.1. Introdução a Lógica Nebulosa

A Lógica Tradicional, fundada pelo filósofo grego Aristóteles (384 - 322 a.C.) propôs uma forma de raciocínio composto por premissas e conclusões, a qual, através da aplicação de regras permite aceitar uma conclusão como “absolutamente verdadeira” ou “absolutamente falsa”, não admitindo valores intermediários para esta resposta. Assim, por exemplo:

Premissa 1 (P1): Carmen é mulher;

Premissa 2 (P2): Todas as mulheres são emotivas;

Conclusão: Logo, Carmen é emotiva.

Esta forma de raciocínio não admite com facilidade o tratamento de problemas com informações vagas e imprecisas, pois para proposições com este tipo de informação, uma declaração de “certeza” (aceitar uma conclusão com um falso ou verdadeiro) pode conter vários graus de incerteza.

***“Nos problemas de difícil solução, em que se faz necessário o auxílio matemático/computacional, modelar tais fatores é extremamente difícil. A modelagem computacional convencional não trabalha com ambigüidades, pois utiliza o conceito de verdadeiro ou falso” (Mukaidono, 2001).***

Para este tipo de situação, onde se busca tratar com proposições que não são completamente verdadeiras ou falsas, ou que são verdadeiras e falsas com um grau de certeza, é que a Lógica Nebulosa encontra um campo profícuo para sua aplicação.

### 3.2 Definição de Lógica Nebulosa

A Lógica Nebulosa (ou, em inglês, *Fuzzy Logic*) foi inicialmente apresentada por Lotfi Zadeh na década de 1960 (FIGUEREIDO;GIMENES, 2009), como uma forma de raciocínio aproximado para o processamento de dados que permite o tratamento de conceitos não quantificáveis e que possuem grau de incerteza. A Lógica Nebulosa pode ser definida, como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos (FERNANDES; SANTOS, 2002).

Cox (1999) cita uma frase de Zadeh,

**“Meu artigo de 1965 sobre conjuntos nebulosos foi motivado em grande escala pela convicção de que os métodos tradicionais de análise de sistemas não serviam para lidar com sistemas em que relações entre variáveis não prestavam para representação em termos de diferenciação ou equações diferenciais. Tais sistemas são o padrão em biologia, sociologia, economia e, usualmente, nos campos em que os sistemas são humanistas, ao invés de maquinistas, em sua natureza” (COX, 1999 apud CAMARGOS, 2002).**

A Lógica Nebulosa trata o aspecto vago da informação, representa o conhecimento humano em forma lingüística, sendo, por isto, menos restritiva, o que facilita a sua aplicação em problemas complexos onde os modelos matemáticos não seriam de fácil aplicação.

Como dito por Guimarães *et. al.* (2002) **“a lógica nebulosa objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao trabalhar com uma grande variedade de informações vagas e incertas”.**

### 3.3 Aplicações da Lógica Nebulosa

A Lógica Nebulosa (LN) tem sido aplicada, majoritariamente, no controle de processos industriais (PASSINO; YURKOVICH, 1998). Por exemplo, no ano de 1983 a Fuji Electric aplicou a LN em um sistema para o tratamento de água. Também se pode destacar a sua aplicabilidade no controle de eletrodomésticos, como máquinas de lavar roupa (para controle de peso, verificação de tipo de tecido e detecção de sujeira, onde os ciclos de lavagem são automaticamente adaptados para uso otimizado de potência, água e detergente), fornos de microondas (na medição de temperatura, umidade e forma dos alimentos para controlar o tempo de cozimento), e aspiradores de pó (na medição da quantidade de pó para ajustar a potência de sucção), dentre outros (CRUZ, 2001) (FIGUEREIDO; GIMENES, 2009).

### 3.4 Características da Lógica Nebulosa

O Quadro 01 apresenta as principais características da Lógica Nebulosa e faz uma breve descrição das mesmas, apresentando exemplos.

**Quadro 01: Características da Lógica Nebulosa**

<b>Característica</b>	<b>Exemplos</b>
Valores verdades são expressos em palavras, não em números.	grande, pequeno, alto, baixo, médio, entre outros.
Utiliza predicados nebulosos	alto e baixo
Utiliza modificadores de predicado	muito, mais o menos, pouco, bastante, médio, entre outros.
Utiliza um conjunto amplo de quantificadores	poucos, vários, freqüentemente, entre outros.
Utiliza probabilidades lingüísticas.	provável, improvável, altamente provável.

### 3.5 Conjuntos Nebulosos

Os conjuntos nebulosos são utilizados para quantificar o significado das variáveis lingüísticas, valores lingüísticos e regras lingüísticas especificadas por especialistas.

Zadeh definiu variáveis lingüísticas como **“variáveis as quais os valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial”** (ZADEH, 1965 apud RUSS, 1996). São usadas para descrever as entradas e saídas dos sistemas nebulosos. As variáveis lingüísticas assumem valores chamados lingüísticos. Os valores lingüísticos são usados para descrever características das variáveis lingüísticas.

As regras lingüísticas são utilizadas para mapear as entradas às saídas de um sistema nebuloso. Consta de um conjunto de condições cuja aplicação dispara uma ação (SE premissa ENTÃO conclusão).

A Figura 09 mostra um exemplo de variável (OBS) associada a valores lingüísticos, conjuntos nebulosos e funções de pertinência triangulares.

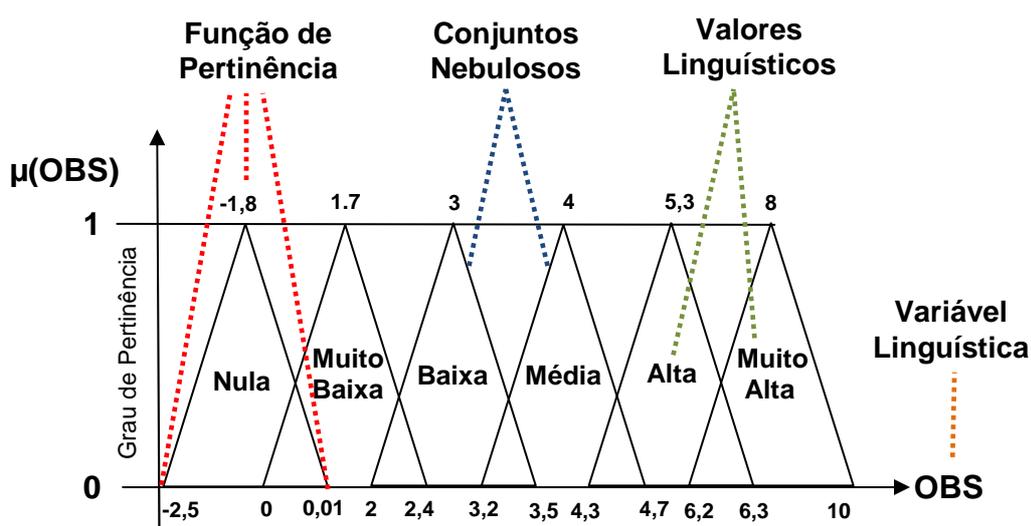


Figura 09: Representação da Função de Pertinência Triangular, Variáveis e Valores Lingüísticos

Na Figura 09 vemos que a Variável Linguística **OBS** (que será utilizada para representar a obstrução do ambiente), apresenta seis conjuntos nebulosos: *Nula*, *Muito Baixa*, *Baixa*, *Média*, *Alta* e *Muito Alta*, cujas pertinências estão dadas pelos valores dos vértices de cada triângulo. Também, *Nula*, *Muito Baixa*, *Baixa*, *Média*, *Alta* e *Muito Alta* são os valores lingüísticos que podem ser adotados pela variável OBS. Por exemplo, a variável lingüística OBS apresentaria pertinência dentro do conjunto *Nula* se o seu valor estivesse entre -2,5 e 0,01, como está definido pela sua função de pertinência.

### 3.5.1. Funções de Pertinência

O conceito principal envolvido nos conjuntos nebulosos é a “função de pertinência”. A função de pertinência estabelece o grau de certeza que um elemento tem de pertencer a um conjunto. Este grau de certeza pode ser um valor entre 0 e 1, sendo que 0 indica que não pertence ao conjunto, e 1 que pertence totalmente.

A relação de pertinência dos elementos a um conjunto nebuloso é representada através de um par de valores, composto pelo elemento e pelo seu grau de pertinência e pode ser definida da seguinte forma:

$$A = \{(\mu_A(x), x) \mid \mu_A(x) \in [0,1]\}, \text{ onde } \mu_A(x) \text{ é a função de pertinência.}$$

A FP pode ser representada graficamente por diversas curvas (triangular, trapezoidal, entre outras), cada uma das quais proporciona um significado diferente para a variável lingüística que quantifica. A Figura 10 mostra a representação gráfica da função triangular e trapezoidal.

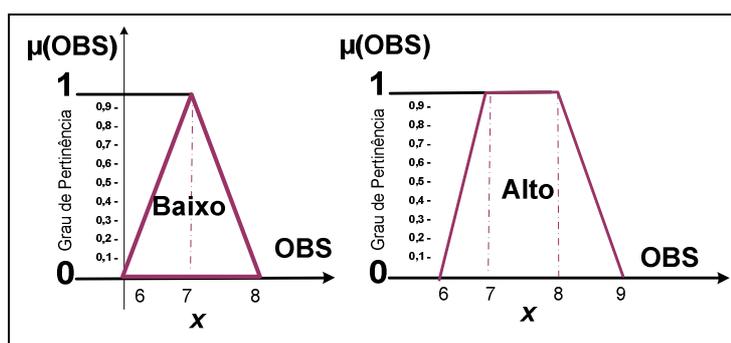


Figura 10: Representação Gráfica das Funções de Pertinência

As funções de pertinência também podem ser representadas matematicamente. Por exemplo, a função triangular é caracterizada de forma matemática como descrito na Tabela 05.

**Tabela 05: Representação Matemática da Função Triangular**

Função de Pertinência Triangular	
Parte “esquerda” da curva (e)	$\mu^e(u) = \begin{cases} 1 \\ \max \left\{ 0, 1 + \frac{c^e - u}{0,5w^l} \right\} \end{cases}$ Se $u \leq c^e$ ; se não
Ponto “central” da curva (c)	$\mu^c(u) = \begin{cases} \max \left\{ 0, 1 + \frac{u - c}{0,5w} \right\} \\ \max \left\{ 0, 1 + \frac{c - u}{0,5w} \right\} \end{cases}$ Se $u \leq c$ ; se não
Parte “direita” da curva (d)	$\mu^d(u) = \begin{cases} \max \left\{ 0, 1 + \frac{u - c^d}{0,5w^d} \right\} \end{cases}$ Se $u \leq c^d$ ; se não

Nessa tabela, para pertinência  $\mu^e$ , a variável  $c^e$  representa o ponto de saturação e  $w^l$  corresponde à inclinação da parte não nula e não unitária da função à esquerda  $c^e$ . Raciocínio análogo pode ser aplicado a  $\mu^d$ . No caso de  $\mu^c$ ,  $c$  é o centro do triângulo e  $w$  é a base dele.

As funções trapezoidal, gaussiana, pico agudo, entre outras, também possuem descrições matemáticas, que podem ser encontradas em (PASSINO;YURKOVICH, 1998)

### 3.5.2. Modelagem das Funções de Pertinência

A seguir, estão sintetizadas as equações que definem as funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana (SOARES, 2009) (BARROS, 2005) (ZUBEN, 2003) (LIMA, 2007).

Função de Pertinência Triangular (a < b < c)

- $\mu_{tri}(x; a, b, c) = \max(\min(x-a/b-a, c-x/c-b), 0)$  .....(10)

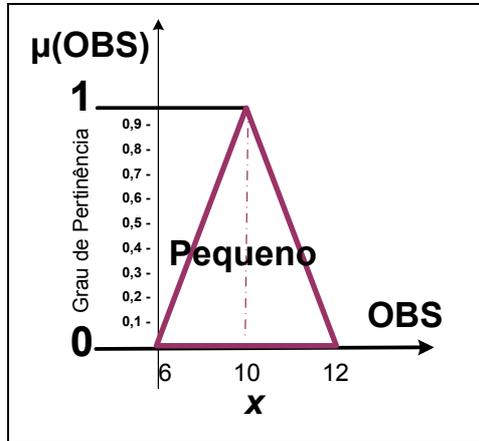


Figura 11: Função de Pertinência Triangular

Onde x é o dado de entrada, a é o limitante inferior, b é o valor modal e c é o limitante superior. Na Figura 11, a, b e c seriam 6, 10 e 12 respectivamente.

Função de Pertinência Trapezoidal (a < b < c < d)

- $\mu_{trap}(x; a, b, c, d) = \max(\min(x-a/b-a, 1, d-x/d-c), 0)$  .....(11)

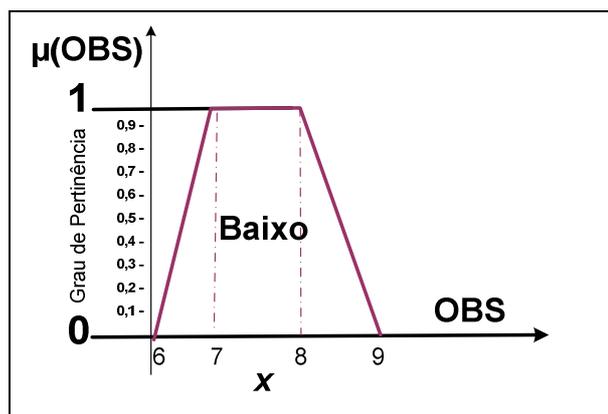


Figura 12: Função de Pertinência Trapezoidal

Onde x é o dado de entrada; a, b, c e d seriam 6, 7, 8 e 9 respectivamente.

**3.5.3. Operações com conjuntos nebulosos**

A seguir, estão sintetizadas as operações básicas com conjuntos nebulosos (PASSINO;YURKOVICH, 1998) (KOHAGURA, 2007) (BARROS, 2005) (SILVEIRA; DANTAS, 2005)

Complemento de um Conjunto Nebuloso - NÃO

O complemento de um conjunto nebuloso  $A_i^1$  com uma função de pertinência  $\mu_{A_i^1}(u_i)$  tem uma função de pertinência dada pela expressão 12:

$$1 - \mu_{A_i^1}(u_i) \dots\dots\dots(12)$$

Intersecção de Conjuntos Nebulosos - E

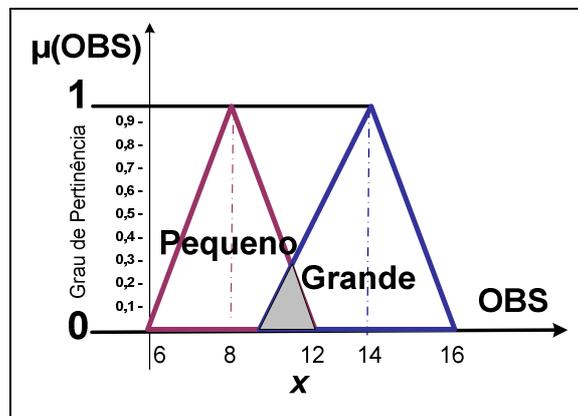
Sejam os conjuntos nebulosos  $A_i^1$  e  $A_i^2$ , definidos no universo de discurso  $u_i$ ; a intersecção de ambos conjuntos estará dada por  $A_i^1 \cap A_i^2$ ; a sua função de pertinência estará dada por qualquer dos seguintes métodos:

- Mínimo:

$$\mu_{A_i^1 \cap A_i^2} = \min \{ \mu_{A_i^1}(u_i), \mu_{A_i^2}(u_i) : u_i \in U_i \} \dots\dots\dots(13)$$

- Produto Algébrico:

$$\mu_{A_i^1 \cap A_i^2} = \mu_{A_i^1}(u_i) \mu_{A_i^2}(u_i) : u_i \in U_i \} \dots\dots\dots(14)$$



**Figura13: Função de Pertinência para a operação E**

União de Conjuntos Nebulosos - OU

Sejam os conjuntos nebulosos  $A_1^1$  e  $A_1^2$ , definidos no universo de discurso  $u_i$ ; a união de ambos conjuntos estará dada por  $A_1^1 \cup A_1^2$ ; a sua função de pertinência estará dada por qualquer dos seguintes métodos:

- Máximo:

$$\mu_{A_1^1 \cup A_1^2} = \max \{ \mu_{A_1^1}(u_i), \mu_{A_1^2}(u_i) : u_i \in U_i \} \dots\dots\dots(15)$$

- Soma Algébrica:

$$\mu_{A_1^1 \cup A_1^2} = \{ \mu_{A_1^1}(u_i) + \mu_{A_1^2}(u_i) - \mu_{A_1^1}(u_i) \mu_{A_1^2}(u_i) : u_i \in U_i \} ..(16)$$

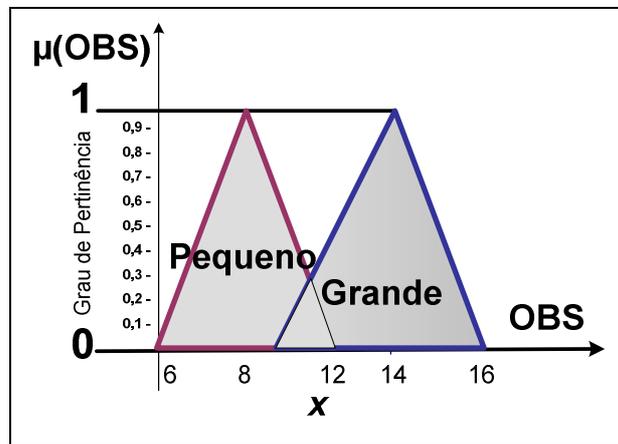


Figura 14: Função de Pertinência para a operação OU

Produto Cartesiano Nebuloso:

O produto Cartesiano é utilizado para quantificar operações sobre muitos universos de discurso. Sejam os conjuntos nebulosos  $A_1^1, A_2^1, A_3^1, \dots, A_n^1$  definidos sobre os universos  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ , respectivamente, os seus produtos cartesianos estão representados por  $A_1^1 * A_2^1 * A_3^1 * \dots * A_n^1$  e a sua função de pertinência é definida pela expressão 17:

$$\mu_{A_1^1 * A_2^1 * A_3^1 * \dots * A_n^1}(U_1, U_2, U_3, \dots, U_n) = \mu_{A_1^1}(u_1) * \mu_{A_2^1}(u_2) * \dots * \mu_{A_n^1}(u_n) \dots\dots\dots(17)$$

### 3.5.4. Relações de conjuntos nebulosos

As relações dos conjuntos nebulosos permitem representar como os elementos de dois conjuntos interagem, se relacionam. As relações mapeiam elementos de um conjunto (X) em outro conjunto (Y). Esta relação está descrita por um valor entre 0 e 1.

As relações dos conjuntos nebulosos usam as operações de interseção, união, complemento, entre outras descritas acima, para estabelecer essa relação.

### 3.5.5. Composição de relações nebulosas

Sejam duas relações nebulosas binárias  $R1(x,y)$  e  $R2(y,z)$  com um conjunto comum “y”. A composição destas relações, representada por  $R1 \circ R2$  gera a relação nebulosa  $R1 \circ R2(x,z)$ , a qual pode ser definida por (KOHAGURA, 2007) (BAUMKARTEN *et al.* 2006):

#### Composição Máximo – Mínimo

Utiliza o máximo ( $\vee$ ) e o mínimo ( $\wedge$ ) na relação. É basicamente uma operação de multiplicação de duas matrizes onde ( $\vee$ ) equivale a soma e ( $\wedge$ ) a multiplicação. Esta composição é representada por:

$$\mu_{R1 \circ R2}(x,z) = \vee y [\mu_{R1}(x,y) \wedge \mu_{R2}(y,z)] \dots\dots\dots(18)$$

#### Composição Máximo – Produto

Utiliza o máximo ( $\vee$ ) e a multiplicação na relação. Esta composição é representada por:

$$\mu_{R1 \circ R2}(x,z) = \vee y [\mu_{R1}(x,y) \cdot \mu_{R2}(y,z)] \dots\dots\dots(19)$$

#### Composição Máximo – Médio

Utiliza o máximo ( $\vee$ ) e o valor médio da soma na relação. Esta composição é representada por:

$$\mu_{R1 \langle + \rangle R2}(x,z) = [1/2(\mu_{R1}(x,y) + \mu_{R2}(y,z))] \dots\dots\dots(20)$$

### 3.6. Modelo de um Sistema Nebuloso

O conhecimento humano, definido em função da experiência e do “Know-How” de profissionais, podem ser considerados como ativos valiosos no contexto de qualquer empresa. Como preservar estes ativos, armazená-los, fazer uso deles, de modo que, tendo como entrada estas informações, uma máquina possa tomar decisões aproximadas ao raciocínio humano, é uma das grandes preocupações atuais. A Lógica Nebulosa faz uso do conhecimento humano e de um conjunto de métodos que auxiliam na resolução de problemas. Um sistema Nebuloso pode ser apresentado como um sistema artificial para a tomada de decisões que se diferencia de outros sistemas pelo uso de conhecimento heurístico. Um sistema nebuloso realiza um mapeamento não linear estático entre entradas e saídas. As entradas e as saídas são conjuntos determinísticos e números reais, e não conjuntos nebulosos (PASSINO;YURKOVICH, 1998) (KOHAGURA, 2007) (BARROS, 2005) (LIMA, 2007) (BAUMKARTEN *et al.* 2006).

Um sistema nebuloso de controle se compõe dos seguintes elementos, que também são apresentados na Figura 15.

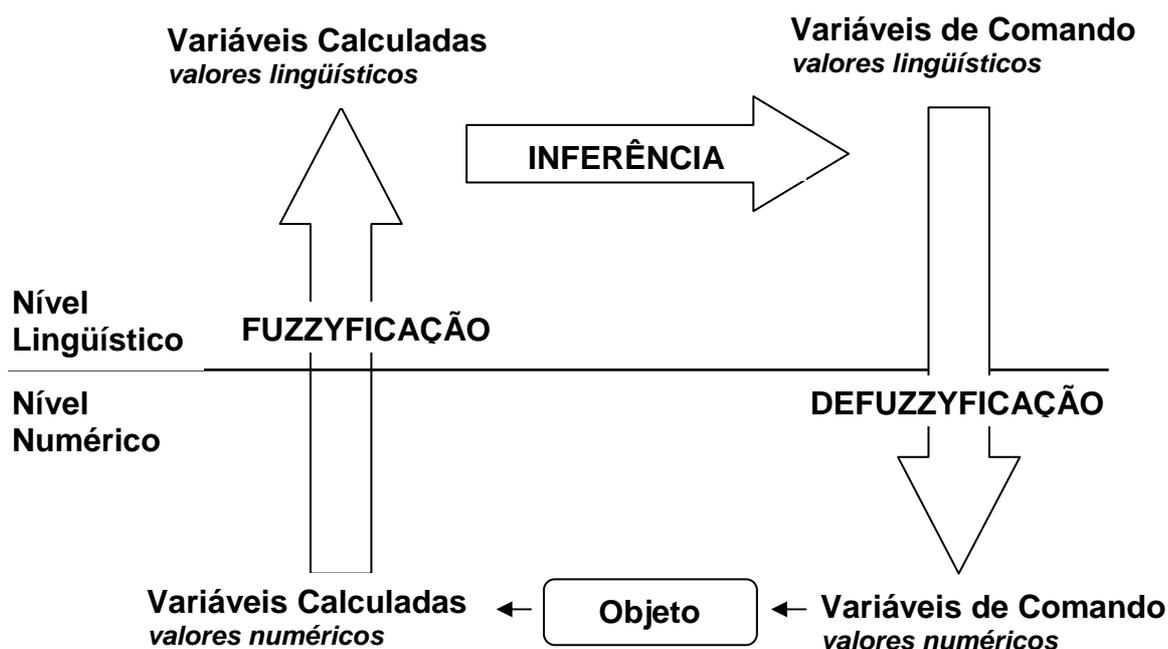


Figura 15: Esquema de um Controlador Nebuloso

- **Base de Regras:** Armazenam o conhecimento na forma de um conjunto de regras as quais definem como controlar melhor o sistema. As regras têm um formato IF (condição) THEN (conclusão).
- **Fuzzyficação:** Nesta parte, é feita a tradução de valores numéricos em variáveis lingüísticas. Para isto é usada uma função de pertinência a qual estabelece quanto uma variável fuzzy pertence a determinado conjunto. Os conjuntos fuzzy são os valores dados às variáveis fuzzy.
- **Inferência:** Está baseada no conjunto de regras, para o qual avalia quais regras são importantes no tempo real para que através da aplicação delas possa ser mapeada a relação entre as variáveis lingüísticas de entrada e saída.

O processo de mapeamento começa quantificando cada uma das regras através de lógica nebulosa, combinando-se as entradas com as premissas das regras. Deste modo, se quantifica o impacto das premissas com as regras que as compõem. As premissas são comparadas com as entradas do controlador para determinar quais regras se deve aplicar. Este processo determina o grau de certeza que cada regra tem dentro do sistema para o qual a função de pertinência tem que ser não nula.

Apos a avaliação das premissas, devem ser determinadas os conseqüentes que deverão se efetivar quando se ativarem as regras. Nesta etapa se formam os valores das funções de pertinência para as premissas de cada regra, que representam o grau de certeza que cada uma das premissas representa para a entrada dada.

Depois do mapeamento, tem lugar o processo de implicação. A implicação consiste basicamente na ativação de uma regra SE - ENTÃO. Para estabelecer essa relação se utilizam as operações de implicação nebulosas, cujas entradas e saídas são os valores recebidos nas etapas de fuzzyficação e de inferência. As operações de implicação mais usadas estão representadas na Tabela 06 (PASSINO;YURKOVICH, 1998) (BARROS, 2005) (LIMA, 2007)

Tabela 06: Operações de Implicação

Nome	Operações de Implicação	Função
$\Phi_m$ , Zadeh Max-Min	$\text{Max}(\min(\mu_A(x), \mu_B(y)), (1 - \mu_A(x)))$	E
$\Phi_c$ , Mandami min	$\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$	OU
$\Phi_p$ , Produto Larsen	$\mu_A(x) * \mu_B(y)$	OU

- **Defuzzyficação:** Transforma o resultado do processo de inferência em entradas para o sistema. Nesta parte é feita a tradução dos valores lingüísticos em numéricos. Existem muitos métodos para este processo, entre os mais usados pode-se destacar:

- Centro de Gravidade: Determina como saída o centro da área de cada conjunto fuzzy implicado. Neste método se calcula a área da curva da variável lingüística de saída produzida pela máquina de inferência, e acha-se o índice correspondente que divide esta área a metade. A função é a seguinte:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A(x_i)}{\sum_{i=1}^n A(x_i)} \dots\dots\dots(21)$$

- Média dos Máximos: Retorna a média dos pontos que possuem maior grau de pertinência. A função é a seguinte:

$$u^* = \sum_{m=1}^M \frac{u_m}{M} \dots\dots\dots(22)$$

#### 4. METODOLOGIA

Na estimação da potência do sinal de recepção em ambientes *indoor*, deve ser considerada a obstrução causada pelos obstáculos presentes no meio. Mais especificamente, estes obstáculos podem ser caracterizados na forma de paredes, portas, janelas, mobiliário, dentre outros; cada um destes elementos influencia a atenuação do sinal com um determinado grau.

Como exposto anteriormente, podem ser encontrados na literatura diversos modelos empíricos de propagação de sinal que visam prever a potência do sinal de recepção considerando só as edificações, mas não os obstáculos nelas presentes. Um dos modelos teóricos que considera o fator de atenuação ocasionado pelo ambiente é o Modelo de Propagação de *Shadowing*, através do parâmetro  $\beta$ , que caracteriza o ambiente onde se propaga o sinal. Rappaport (2004) apresenta uma tabela para classificação desse fator  $\beta$ , detalhada no capítulo 2. Porém, essa classificação é muito geral quando se considera as especificidades de ambientes *indoor*, uma vez que apresenta o valor de  $\beta$  no espaço livre e em um meio com presença de obstáculos, mas sem a valoração da influência desses obstáculos na atenuação. No entanto, a obstrução gerada pela infra-estrutura presente nas edificações varia de acordo com as características próprias desses objetos obstrutores, como mostram estudos de propagação do sinal realizados para ambientes *indoor* (HALFORD; WEBSTER, 2001) (RAPPAPORT, 2002).

Por outro lado, a utilização de lógica nebulosa viabiliza a solução de problemas complexos com informações ambíguas e não precisas, de maneira eficiente, através da aplicação de um processo simplificado quando comparado com o tratamento analítico, o qual envolve um significativo esforço matemático e computacional.

Portanto, uma vez que este trabalho visa fazer uma análise da atenuação do sinal, através da aplicação de uma base de regras nebulosas para considerar a obstrução do ambiente no cálculo do parâmetro  $\beta$  do modelo de propagação do

sinal com *shadowing*, serão apresentadas, a seguir, os aspectos metodologia adotada na abordagem do problema em foco.

#### 4.1. Ambiente Estudado

Com o propósito validar o modelo nebuloso proposta neste trabalho, os resultados obtidos após a etapa de *defuzzificação* foram confrontados com resultados empíricos obtidos em um estudo de propagação realizado nas salas de aula da Pontifícia Universidade Católica de Campinas descrito em (BRANQUINHO *et. al.* 2005), caracterizando um ambiente indoor com 6 salas, dispostas conforme indicado na Figura 16.

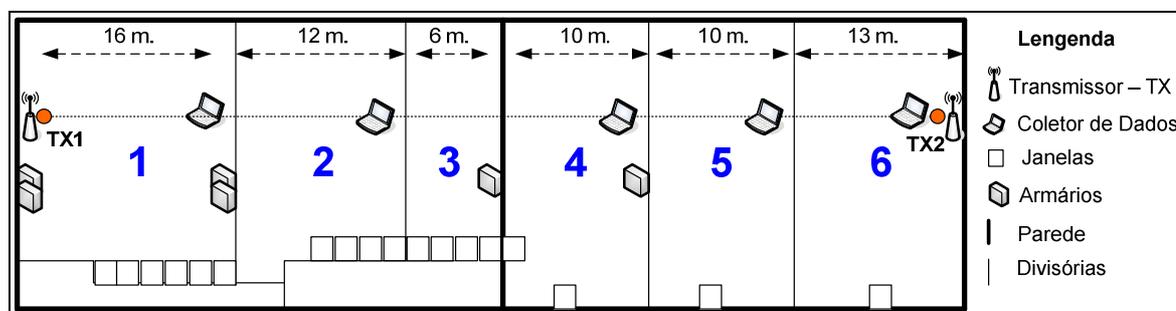


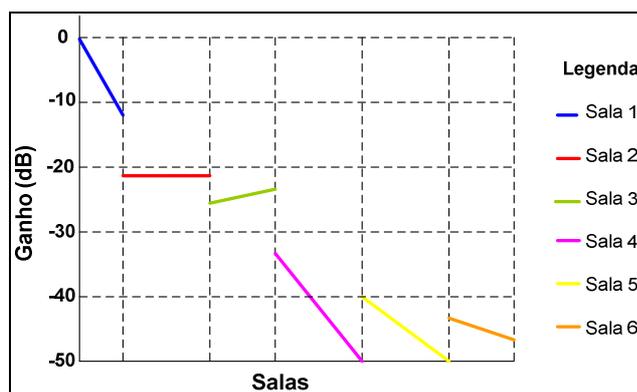
Figura 16: Salas do Ambiente de Estudo

Neste ambiente, as paredes externas e a parede central, que divide as salas 3 e 4, são de alvenaria. As outras paredes são formadas por divisórias convencionais. No *Access Point* (AP) foi utilizada uma antena setorial de noventa graus. Para a coleta de dados foi utilizado um notebook equipado com uma placa de rede sem fio e com uma antena monopolo vertical. Durante o estudo, ambos foram posicionados a 1,85 metros do chão, permitindo espaçamento entre os pontos de medida, em média, de 30 cm.

Segundo Branquinho *et. al.* (2005), os ganhos das antenas foram desconsiderados, uma vez que a avaliação considera um ponto de referência a certa distância do AP. A placa de rede sem fio viabilizou o acesso à informação de intensidade de sinal através do NDIS (*Network Driver Interface Specification*). O armazenamento das medidas foi realizado através de um software desenvolvido em Java.

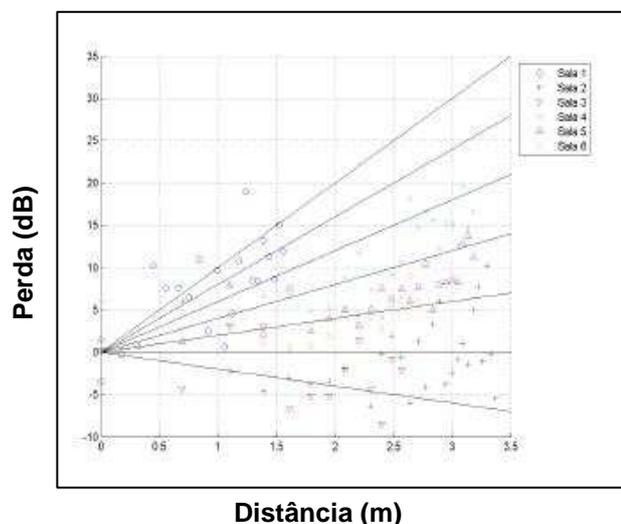
As medições foram realizadas em duas séries, uma em cada extremo do prédio, mostrado na Figura 16 como pontos TX1 e TX2. Em cada ponto foram realizadas 400 medidas com o intuito de analisar o comportamento da propagação do sinal. Foi avaliada a repetibilidade das medidas para garantir a exclusão de problemas relacionados ao aparato de medição (Branquinho et. al. 2005).

A caracterização do ambiente foi realizada medindo a intensidade do sinal em cada ponto e calculando a média e do desvio padrão da média. Conforme enfatizado pelos autores, o ponto a 1,3 metros da antena do AP foi considerado como referência para todos os outros pontos, garantido assim estar fora da região de Fresnel da antena e dentro da região de Fraunhofer. A Figura 17 explicita o decaimento obtido por ambiente a partir das medições.



**Figura 17: Atenuação por ambiente**

A Figura 18 apresenta a distribuição de pontos obtidos em cada sala.



**Figura 18: Distribuição de pontos de cada sala (BRANQUINHO et al., 2006)**

Em relação a esses resultados experimentais, a Tabela 07 apresenta os coeficientes ( $a$  e  $b$ ) que formam a equação da reta  $y = a + bx$ ; onde  $y$  é a atenuação em dB;  $x$  é o logaritmo da distância;  $b$  é o expoente de perda de percurso e  $a$  é a diferença entre a atenuação e o produto entre o expoente de perda de percurso e o logaritmo da distância. Nestes resultados, que apresentam uma grande variação no decaimento  $D$  (o qual é um valor acumulado para cada ambiente estudado), o parâmetro “ $b$ ” equivale ao valor de  $\beta$  que se procura estimar neste trabalho (Branquinho et. al. 2005).

**Tabela 07: Resultados Experimentais**

Sala	a	b	D(m)
1	0,37648	-8,1116	7,62
2	-20,8330	-0,02011	8,9
3	-25,6070	1,4018	3,52
4	-33,8870	-4,7992	7,35
5	-40,3240	-2,9495	7,51
6	-43,2040	-1,8988	5,01

#### 4.2. Caracterização das salas do ambiente de testes

Como descrito anteriormente, o ambiente *indoor* selecionado para o teste da metodologia proposta neste trabalho é composto por seis salas de aula da PUC-Campinas, caracterizadas pela presença dos seguintes objetos:

- Sala 1: Dentro dessa sala (onde foi posicionado o AP transmissor TX1) existem duas paredes de alvenaria, janelas de vidro fino e foi identificada uma forte presença de armários metálicos.
- Sala 2: Possui uma parede de alvenaria e uma divisória de madeira fina. Também foi identificada a presença de janelas.
- Sala 3: Possui uma parede de alvenaria, uma divisória de madeira e janelas. Deve-se salientar que o tamanho desta sala é muito menor quando comparado com o tamanho das duas primeiras.
- Sala 4: Esta sala apresenta uma característica em especial, uma vez que a divisória dessa sala com a sala 3 que é feita de alvenaria e não de madeira. Também possui outras duas paredes de alvenaria.

- Sala 5: Esta sala se caracteriza por ser pequena em comparação as restantes e tem 2 paredes de alvenaria e 2 divisórias de madeira.
- Sala 6: Esta sala é a última do ambiente em estudo (onde foi posicionado o AP de recepção – TX2). Também é pequena, se comparada com as demais, e possui 2 divisórias de madeira e 2 paredes de alvenaria.

A Tabela 08 apresenta de maneira resumida a caracterização de cada uma das salas do ambiente estudado.

**Tabela 08: Caracterização por Sala**

Característica	POR SALA					
	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5	Sala 6
Paredes	1	1	1	3	2	2
Divisórias	0	1	1	0	1	1
Janelas	7	4	4	2	1	1
Armários Metálicos	4	0	1	1	0	0
Tamanho das salas (metros)	16	12	6	10	10	13
Distância acumulada (metros)	16	28	34	44	54	67

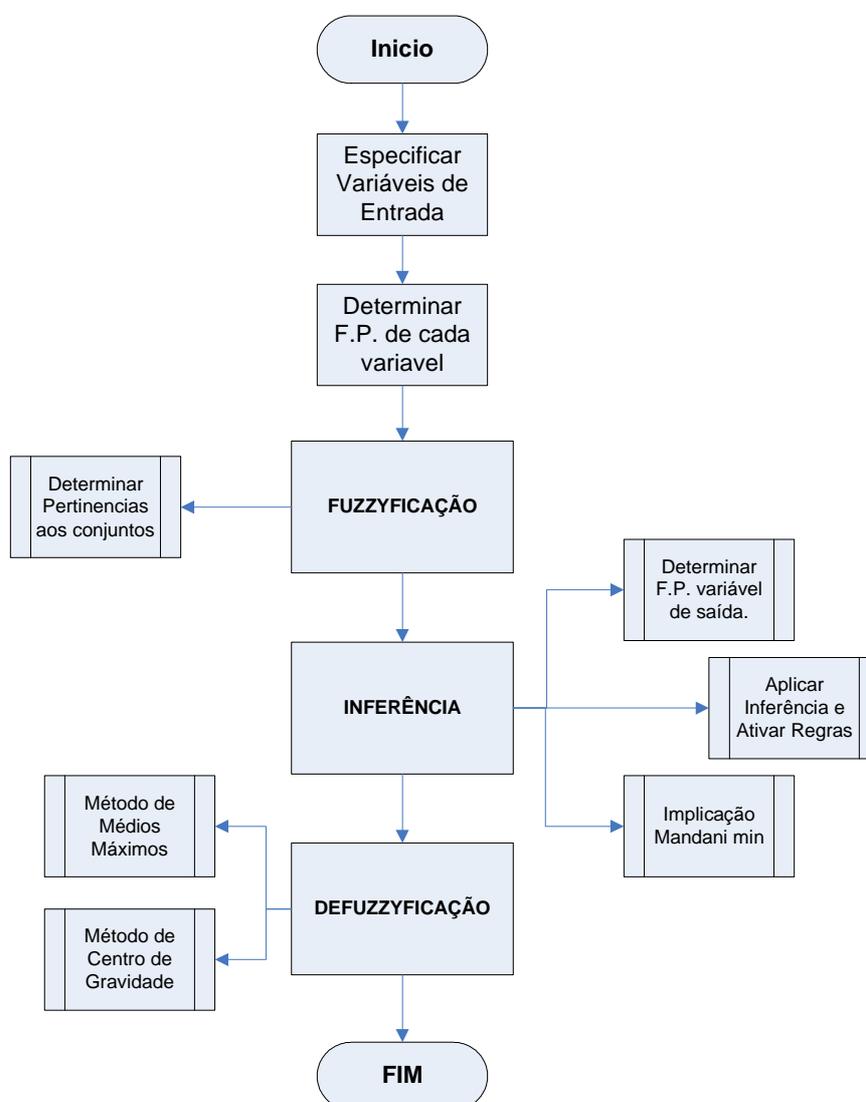
Conforme exposto anteriormente, a potência da recepção varia em função da distância e obstrução ocasionada pelo meio. Assim, para o estudo de propagação proposto, a distância considerada em cada sala deve ser composta pela somatória dos tamanhos das salas que a antecedem, caracterizando assim, uma distância acumulada. De forma análoga, no caso dos objetos que obstruem o sinal, também deve ser considerada a composição total das salas que antecedem aquela onde será estimado o parâmetro  $\beta$ . A Tabela 09 mostra o resumo da caracterização acumulada das salas para o ambiente estudado.

**Tabela 09: Caracterização Acumulada das Salas**

Característica	ACUMULADOS					
	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5	Sala 6
Paredes	1	2	3	6	8	10
Divisórias	0	1	2	2	3	4
Janelas	7	11	15	17	18	19
Armários Metálicos	4	4	5	6	6	6
Tamanho das salas (metros)	16	12	6	10	10	13
Distância acumulada (metros)	16	28	34	44	54	67

### 4.3. O Sistema de Regras Nebulosas

Como exposto anteriormente, um sistema Fuzzy tem principalmente três etapas: fuzzificação, inferência e defuzzificação, em cada uma das quais se realizam determinados processos. O Diagrama de Fluxo 01 representa a Metodologia proposta neste trabalho. Nesse diagrama estão explicitados os processos e sub-processos que cada uma destas etapas principais envolve, assim como outras atividades de entrada do processo. Também estão especificados os dois métodos de Defuzzyficação usados neste trabalho: o Centro de Gravidade e o de Médios Máximos.



**Diagrama de Fluxo 01: Fluxograma da Metodologia Proposta**

A seguir, serão apresentadas as variáveis nebulosas propostas neste trabalho para a determinação do parâmetro  $\beta$  do modelo de atenuação com shadowing.

#### 4.3.1. Variáveis Nebulosas de Entrada

As variáveis nebulosas que impactam na propagação do sinal no ambiente indoor representam os dados de entrada para o sistema nebuloso e foram selecionadas pelo impacto que tem no nível de atenuação e conseqüentemente no expoente de perda de percurso  $\beta$ . Neste trabalho, foram implementadas as seguintes variáveis de entrada:

- (a) Paredes de Alvenaria– (**PAR**)
- (b) Divisórias de Madeira – (**DIV**)
- (c) Janelas – (**JAN**)
- (d) Armários Metálicos ---- (**AM**)
- (e) Distância – (**DIS**)
- (f) Tamanho – (**TAM**)

Os valores nebulosos para cada uma dessas variáveis foram determinados de acordo aos resultados do estudo de propagação no ambiente de testes, descritos na seção 4.1. Em relação às funções de pertinência selecionadas para a qualificação de todas as variáveis nebulosas, adotou-se a função triangular, pois, por um lado, segundo os resultados experimentais, os valores obtidos são bastante discretos, e por outro, essa função requer baixo esforço computacional e conduz a resultados satisfatórios. A seguir, são apresentadas as funções de pertinência para as variáveis de entrada implementadas neste trabalho.

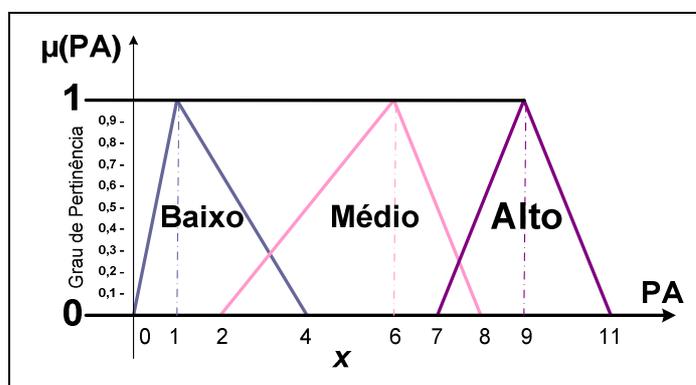
##### A) Função de Pertinência para Paredes de Alvenaria - PA

Na Tabela 09 foram apresentados os resultados acumulados das características das salas, sendo que para a variável Paredes de Alvenaria (PA) encontrou-se como valores mínimo e máximo, 1 e 10 paredes respectivamente. Também se observa que, em um ambiente comum, pode não existir este tipo de parede; assim, para esta função também se considerou admissível o valor “0”, permitindo a ausência deste tipo de elemento no ambiente.

A Tabela 10 apresenta as funções de pertinência para a variável PA, a qual considera 3 conjuntos nebulosos: Baixo, Médio e Alto. Foram escolhidos estes 3 conjuntos em razão dos resultados acumulados das salas. Para o conjunto Baixo, o limitante inferior é “0”, como mencionado acima. O valor “b” da função triangular é 1, já que existe diferença entre ter e não ter paredes deste tipo. O valor “c” indica o limitante superior para o conjunto baixo (neste caso 4) que oferece uma pequena pertinência ao conjunto Baixo. Para o conjunto Médio, os valores de a, b e c apresentam uma maior variação para a variável x ter coincidência com este conjunto. O conjunto Alto apresenta um pequeno *range* de valores, sendo o limitante superior 11, em acordo com os resultados acumulados. A Figura 19 mostra graficamente estas funções.

**Tabela 10: FP da variável “Paredes de Alvenaria”**

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
Baixo	triangular	(x;0,1,4)
Médio	triangular	(x;2,6,8)
Alto	triangular	(x;7,9,11)



**Figura 19: FP da variável Paredes de Alvenaria**

## **B) Função de Pertinência para a variável Divisórias de Madeira - DIV**

Segundo a Tabela 9, a quantidade de divisórias (DIV) presentes nas salas está entre 0 e 4. Para esta variável foram considerados os conjuntos: Poucas e Muitas, já que o *range* dos valores acumulados é pequeno. No conjunto Poucas o limitante inferior é negativo de maneira que se enfatize o impacto de não existirem divisórias em um ambiente; o valor de “b” é 0, o qual oferece à variável x pertinência total a este conjunto. O conjunto Muitas apresenta um

range entre 1 e 5 sendo que o valor 3 oferece maior pertinência a este conjunto. A Tabela 11 apresenta as funções de pertinência para a variável DIV. A Figura 20 mostra graficamente as funções de pertinência desta variável.

Tabela 11: FP da variável Divisórias de Madeira - DIV

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
<b>Poucas</b>	triangular	$(x;-1,0,2)$
<b>Muitas</b>	triangular	$(x;1,3,5)$

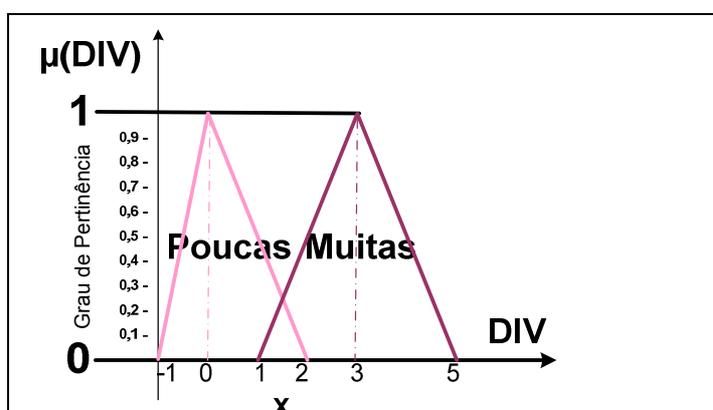


Figura 20: FP da variável Divisórias de Madeira - DIV

### C) Função de Pertinência para a variável “Janelas”

A variável Janelas (JAN) apresenta um *range* entre 7 e 19 dentro dos resultados acumulados. Os conjuntos nebulosos para esta variável são Baixo, Médio e Alto. Pode-se perceber que os valores para os três conjuntos não são muito contíguos, apresentando separação de 3 a 5 unidades. O conjunto Baixo apresenta como limitante inferior o valor 0, fato que se justifica uma vez que em salas de aula pode não existir a presença de janelas. Também, é importante salientar que, com um valor de 4, a variável  $x$  poderia alcançar uma maior pertinência para este conjunto. Para o conjunto Médio e conjunto Alto, os valores de  $a$ ,  $b$  e  $c$  são menos discretos. A Tabela 11 apresenta as funções de pertinência para a variável JAN.

Tabela 12: FP da variável Janelas - JAN

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
<b>Baixo</b>	triangular	$(x;0,4,9)$
<b>Médio</b>	triangular	$(x;8,11,16)$
<b>Alto</b>	triangular	$(x;14,19,22)$

A Figura 21 ilustra as funções de pertinência para esta variável. Nesta figura observa-se que existe intersecção entre os valores 8 e 9 dos conjuntos Baixo e Médio e entre os valores 14 e 16 dos conjuntos Médio e Alto; assim, se a entrada  $x$  apresentar valor entre esses pontos, deve ser verificado seu grau de pertinência para cada um desses conjuntos.

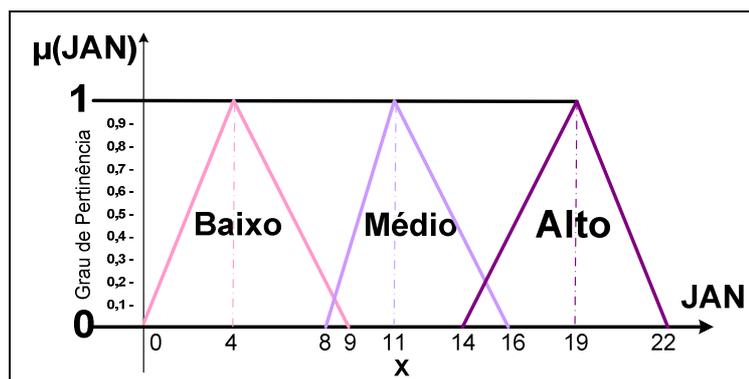


Figura 21: FP da variável Janelas - JAN

#### D) Função de Pertinência para a variável “Armários Metálicos”

Segundo os resultados acumulados, os valores para a variável Armários Metálicos (AM) podem estar entre 4 e 6. Como exposto na Tabela 02, a atenuação gerada pelos armários metálicos é significativa se comparada com outros tipos de material. Por essa razão, mesmo sendo pequeno o *range* de valores dos resultados acumulados (4 – 6), foram considerados 3 conjuntos nebulosos distintos, com valores bastante discretos para poder contemplar e diferenciar o impacto da presença e quantidade deste tipo de elemento. A Tabela 13 mostra as funções de pertinência para os conjuntos desta variável, salientando a discretização destes valores.

Tabela 13: FP da variável Armários Metálicos - AM

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
Baixo	triangular	(x;0,1,2)
Médio	triangular	(x;1,3,5)
Alto	triangular	(x;4,6,8)

A Figura 22 representa graficamente as funções de pertinência para a variável Armários Metálicos (AM).

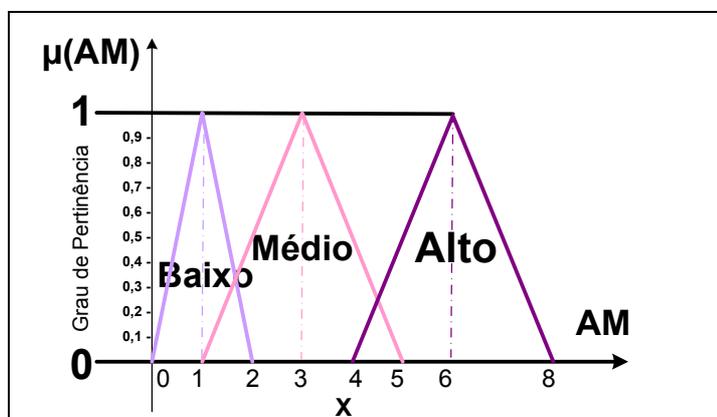


Figura 22: FP da variável Armários Metálicos – AM

### E) Função de Pertinência para a variável Distância

Como exposto anteriormente, a potência do sinal de recepção é dependente, dentre outros fatores, da distância. Esta variável considera como valores de referência a somatória dos tamanhos das salas para poder determinar os limitantes de cada função. A Tabela 14 apresenta as funções de pertinência para os três conjuntos criados para esta variável: Baixa, Média e Alta. Os *ranges* considerados para os três conjuntos são aproximadamente iguais à média dentre eles.

Tabela 14: FP da variável Distância - DIS

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
Baixa	triangular	(x;5,20,39)
Média	triangular	(x;35,48,52)
Alta	triangular	(x;50,59,70)

A Figura 23 mostra graficamente as funções de pertinência para esta variável.

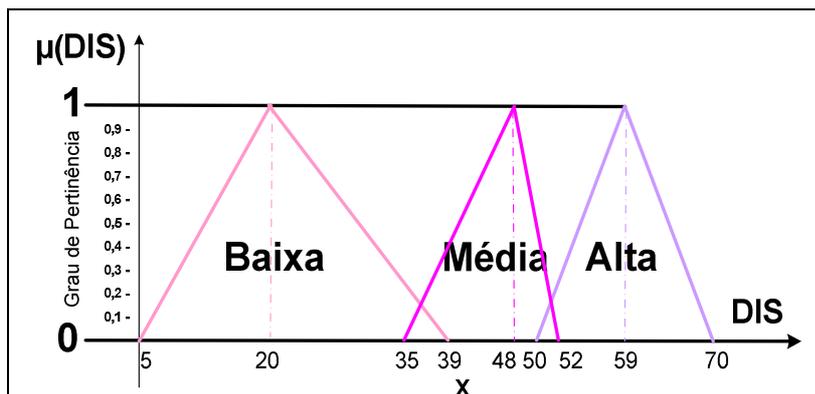


Figura 23: FP da variável Distância – DIS

### F) Função de Pertinência para a variável Tamanho

Os conjuntos nebulosos criados para esta variável foram dois: Pequeno e Grande, pois segundo aos dados acumulados das características das salas, os tamanhos da mesmas variam principalmente entre estes dois conjuntos. A Tabela 15 apresenta as funções de pertinência para a variável Tamanho (TAM).

Tabela 15: FP da variável Tamanho - TAM

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
Pequeno	triangular	(x;6,10,14)
Grande	triangular	(x;12,15,20)

A Figura 24 apresenta de forma gráfica as funções de pertinência para os dois conjuntos da variável Tamanho (TAM).

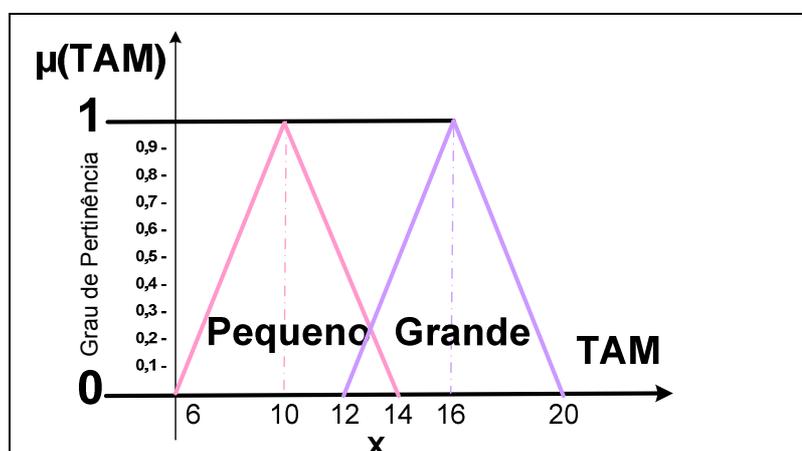


Figura 24: FP da variável Tamanho – TAM

### 4.3.2. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 1 do Ambiente de Teste

A título de exemplificação do mecanismo de fuzzyficação, será demonstrada a seguir a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 1 do ambiente de testes. Assim, a pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é dada por:

$$\mu_{tri}(x; a, b, c) = \max(\min(x-a/b-a, c-x/c-b), 0)$$

A análise para cada uma das variáveis de entrada está explicitada a seguir.

#### A) Pertinências aos conjuntos da variável Parede de Alvenaria - PA

Como explicitado na Tabela 09, para a sala 1 a quantidade de Paredes de Alvenaria (PA) é 1, sendo este o valor de entrada para o cálculo da pertinência. A Tabela 16 mostra o cálculo da pertinência para os três conjuntos - Baixo, Médio e Alto - da variável PA, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 10.

**Tabela16: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – PA – Sala 1**

Valor L.	Função de Pertinência	FP
<b>Baixo</b>	$\max(\min((1-0)/(1-0), (4-1)/(4-1)), 0)$	1
<b>Médio</b>	$\max(\min((1-2)/(6-2), (8-1)/(8-6)), 0)$	0
<b>Alto</b>	$\max(\min((1-7)/(9-7), (11-1)/(11-9)), 0)$	0

Como resultado da fuzzyficação da variável PA da Sala 1, encontrou-se uma pertinência de 1 (total) para o conjunto Baixo e pertinencia 0 para os conjuntos Médio e Alto. Na figura 25 está representada a pertinência em grau 1 para o conjunto baixo quando x é igual a 1 (quantidade de paredes na sala 1).

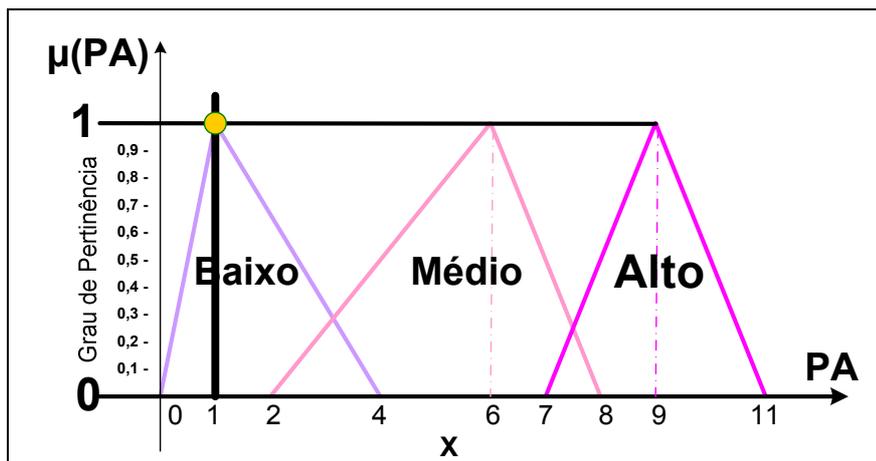


Figura 25: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 1

## B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – DIV

A Tabela 17 mostra o cálculo da pertinência para os conjuntos Poucas e Muitas da variável DIV, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 11. Nesta, podemos perceber que com um valor de  $x$  igual a 0 obtém-se uma pertinência total ao conjunto Poucas e pertinência nula ao conjunto Muitas.

Tabela 17: Pertinências aos conjuntos da variável DIV – Sala 1

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((0-(-1))/(0-(-1)), (2-0)/(2-0)), 0)$	1
Muitas	$\max(\min((0-1)/(3-1), (5-0)/(5-3)), 0)$	0

Na figura 26 está representada a pertinência para o conjunto Poucas quando  $x$  é igual a 1 (quantidade de divisórias na sala 1).

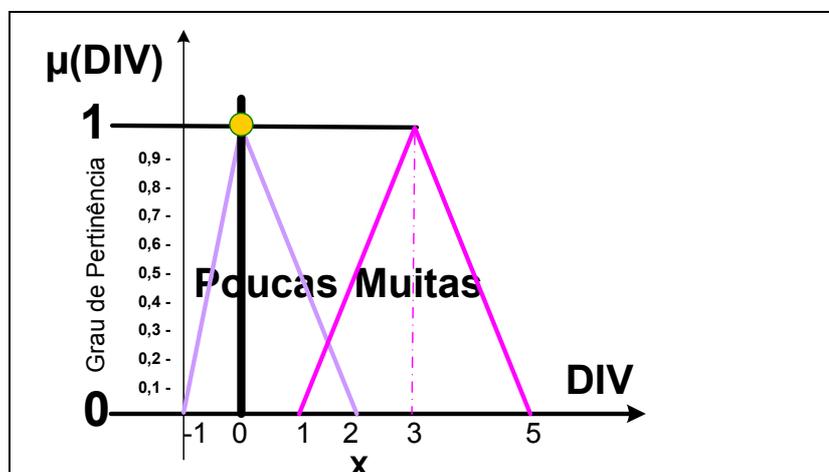


Figura 26: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira - DIV

### C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – JAN

A Tabela 18 mostra o cálculo da pertinência para os conjuntos Baixo, Médio e Alto da variável JAN, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 12. Nesta podemos perceber que com um valor de x igual a 7 alcançou-se uma pertinência de 0,4 ao conjunto Baixo e pertinência nula aos conjuntos Médio e Alto.

Tabela 18: Pertinências aos conjuntos da variável JAN – Sala 1

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((7-0)/(4-0), (9-7)/(9-4)), 0)$	0,4
Médio	$\max(\min((7-8)/(11-8), (16-7)/(16-11)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((7-14)/(19-14), (22-7)/(22-19)), 0)$	0

Na figura 27 está representada a pertinência em grau 0,4 para o conjunto Baixo quando x é igual a 7 (quantidade de janelas na sala 1).

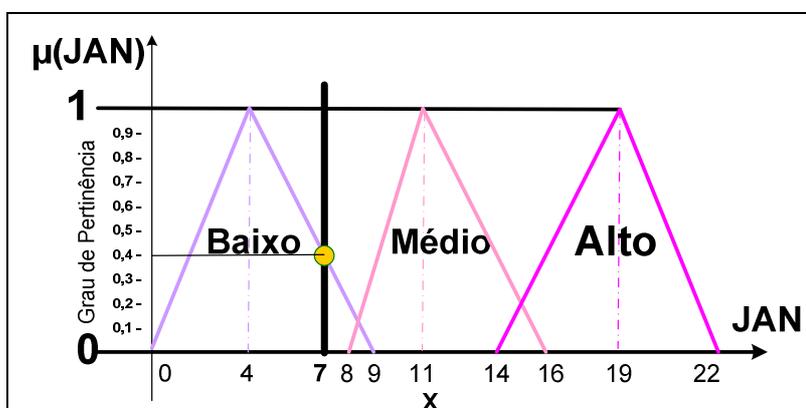


Figura 27: Conjuntos da variável Janelas - JAN

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – AM

A Tabela 19 mostra o cálculo da pertinência para os conjuntos Baixo, Médio e Alto da variável AM, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 13. Nesta podemos perceber que com um valor de x igual a 4 alcançou-se uma pertinência de 0,5 ao conjunto Médio e pertinência nula aos conjuntos Baixo e Alto.

Tabela 19: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos - AM

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((4-0)/(1-0), (2-4)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((4-1)/(3-1), (5-4)/(5-3)), 0)$	0,5
Alto	$\max(\min((4-4)/(6-4), (8-4)/(8-6)), 0)$	0

Na figura 28 está representada a pertinência em grau 0,5 para o conjunto Médio quando x é igual a 4 (quantidade de armários na sala 1).

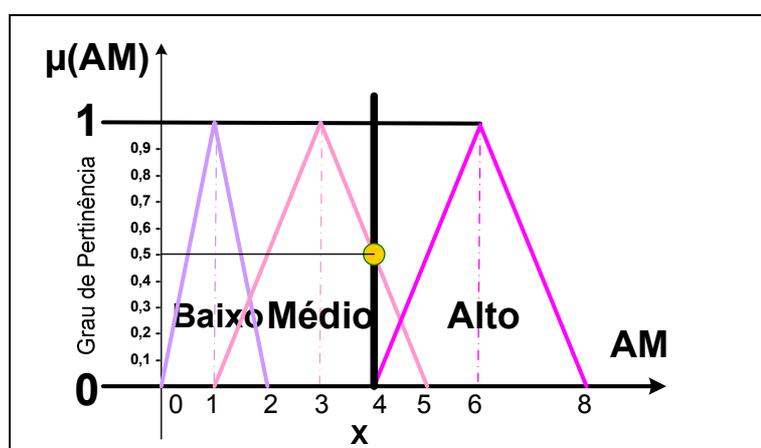


Figura 28: Conjuntos da variável Armários Metálicos - AM

### E) Pertinências aos conjuntos da variável Distância - DIS

A Tabela 20 mostra o cálculo da pertinência para os conjuntos Baixa, Média e Alta da variável DIS, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 14. Nesta podemos perceber que com um valor de x igual a 16 alcançou-se uma pertinência de 0,8 ao conjunto Baixa e pertinência nula aos conjuntos Média e Alta.

Tabela 20: Pertinências aos conjuntos da variável Distância - DIS

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((16-5)/(20-5), (39-16)/(39-20)), 0)$	0,8
Média	$\max(\min((16-35)/(48-35), (52-16)/(52-48)), 0)$	0
Alta	$\max(\min((16-50)/(59-50), (70-16)/(70-59)), 0)$	0

Na figura 29 está representada a pertinência em grau 0,8 para o conjunto Baixa quando x é igual a 16 (distância caracterizada na sala 1).

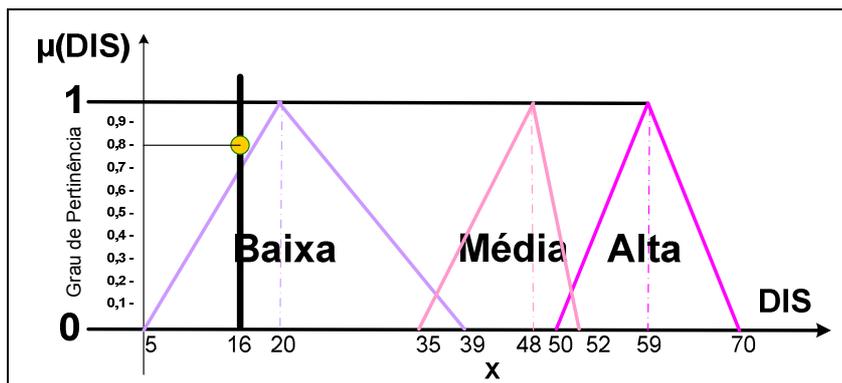


Figura 29: Conjuntos da variável Distância - DIS

### F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – TAM

A Tabela 21 mostra o cálculo da pertinência para os conjuntos Pequeno e Grande da variável TAM, segundo as funções de pertinência definidas na Tabela 15. Nesta podemos perceber que com um valor de  $x$  igual a 16 alcançou-se uma pertinência de 0,8 ao conjunto Grande e pertinência nula ao conjunto Pequeno.

Tabela 21: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 1

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((16-6)/(10-6), (14-16)/(14-10)), 0)$	0
Grande	$\max(\min((16-12)/(15-12), (20-16)/(20-15)), 0)$	0,8

Na figura 30 está representada a pertinência em grau 0,8 para o conjunto Pequeno quando  $x$  é igual que 16 (tamanho caracterizado na sala 1).

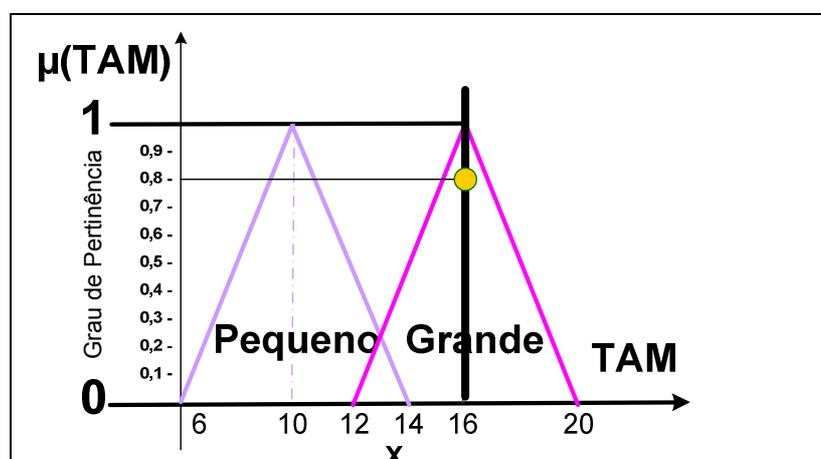


Figura 30: Conjuntos da variável Tamanho - TAM

### 4.3.3 Inferência e Variável Nebulosa de Saída

Esta etapa envolve a ativação da base de regras que permitirá mapear a relação entre os valores obtidos na etapa de fuzzyficação e os valores da variável nebulosa de saída, através de um mecanismo específico de inferência, ou, em outras palavras, através de uma relação de implicação.

Considerando que o objetivo proposta neste trabalho é calcular o grau de obstrução representado pelo parâmetro  $\beta$ , a variável de saída mais adequada para a representação desse propósito é a obstrução – OBS, descrita conforme segue, pela Tabela 22 e pela Figura 31.

#### Função de Pertinência para a variável de saída Obstrução

Tabela 22: FP da variável de saída Obstrução - OBS

Valor Lingüístico	Tipo de função	Valores
Nula	triangular	(x;-2.5,-1.8,0.01)
Muito Baixo	triangular	(x;0,1.7,2.4)
Baixa	triangular	(x;2,3,3.5)
Medio	triangular	(x;3.2,4,4.7)
Alto	triangular	(x;4.3,5.3,6.3)
Muito Alta	triangular	(x;6.2,8,10)

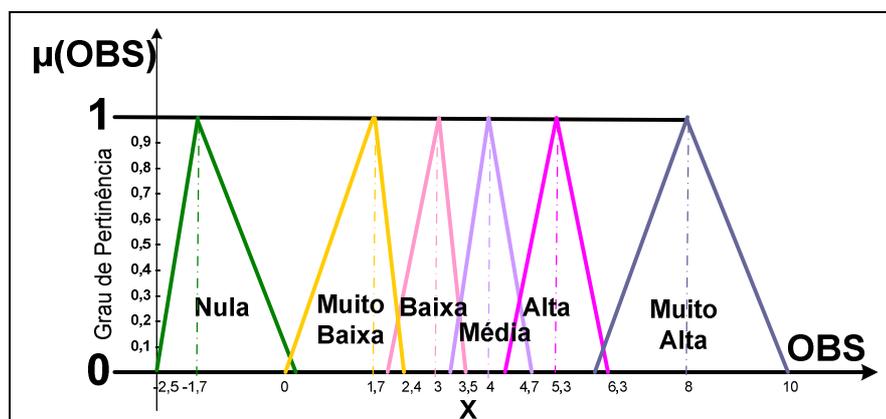


Figura 31: FP da variável de saída Obstrução

Assim, o mecanismo de inferência está fundamentado na relação entre as funções de pertinência da variável de saída OBS e os resultados provenientes da etapa de fuzzyficação, por meio de uma base de regras nebulosas que viabilizam essa inferência. Neste trabalho, foram implementadas 103 regras, descritas no Anexo I. Uma dessas regras está apresentada a seguir, a título de exemplificação:

- (1) SE (PA é Baixo) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO ALTA)

Para a aplicação efetiva da base de regras, é necessário adotar uma relação de implicação, que estipula a pertinência de uma determinada situação aos qualificativos da variável nebulosa de saída com base nos resultados obtidos para as pertinências das variáveis de entrada. Para isto, como mostrado no capítulo 3, existem diversas operações de implicação; neste trabalho, foi escolhida a de Mandani min ( $\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$ ) devido à sua simplicidade de uso.

#### 4.3.4. Aplicação de Inferência – Sala 1 do Ambiente de Teste

Como exemplo, descreve-se a seguir a aplicação do mecanismo de inferência nebuloso para a sala 1 do ambiente de teste selecionado. Assim, devem ser considerados os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 4.3.2, resumidos na tabela a seguir:

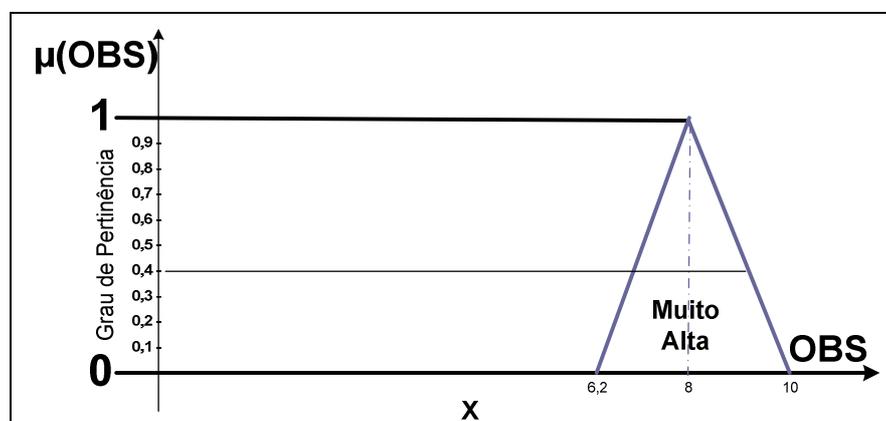
**Tabela 23: Resumo dos Resultados da Fuzzyficação – Sala 1**

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{\text{Baixo}}(1)=1$
Divisórias de Madeira	$\mu_{\text{Poucos}}(1)=1$
Janelas	$\mu_{\text{Baixo}}(1)=0,4$
Armários Metálicos	$\mu_{\text{Médio}}(1)=0,5$
Distancia	$\mu_{\text{Muita}}(1)=0,8$
Tamanho	$\mu_{\text{Grande}}(1)=0,8$

Nesse caso, devido à simplicidade dessa situação em particular, tem-se o disparo de uma única regra da base de regras, descrita a seguir.

- (1) SE (PA é Baixo) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO ALTA)

De acordo com a operação de implicação de Mandani(min.), tem-se que o valor de pertinência mínimo, selecionado dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação, é de **0,4**. Aplicando a regra (1), observa-se que a saída está dentro do conjunto **Obstrução Muito Alta**.



**Figura 32: Resultado da Inferência – Sala 1**

#### 4.3.5. Etapa de Defuzzyficação

O propósito desta etapa é o de transformar um dado nebuloso em um dado quantitativo, ou “*crisp*”. Neste trabalho, esta etapa foi implementada aplicando os métodos de Centro de Gravidade e Médios Máximos, a partir de cálculo manual (para aplicação direta) e computacional, a partir de aplicativo desenvolvido na plataforma Java e apresentado no Anexo II.

Tanto para o método do Centro de Gravidade, quanto para o método dos Médios Máximos, foram escolhidos 5 pontos pertencentes à área de pertinência para a execução do cálculo manual. Uma vez que estes são pontos de referência, incide-se em erro inerente ao conjunto selecionado na determinação da solução, ou seja, na medida em que um maior número de pontos é avaliado, o resultado é composto por um grau maior de mais discretização, o que conduz a uma menor margem de erro.

Assim, os resultados obtidos através de cálculo manual com cinco pontos também serão comparados com os resultados fornecidos pela ferramenta computacional desenvolvida para o tratamento de Sistemas de Lógica Nebulosa, que emprega um total de 1000 pontos para a defuzzyficação. Estes resultados serão apresentados no capítulo 5.

#### 4.3.6. Aplicação da Defuzzyficação – Sala 1 do Ambiente de Teste

A seguir, como exemplo, descreve-se a aplicação, através de cálculo manual, dos métodos de defuzzyficação selecionados, para a sala 1 do ambiente de teste. Assim, a partir dos resultados descritos nos itens 4.3.2 e 4.3.4, tem-se:

##### A) Pelo Método do Centro de Gravidade

Esse método é definido por:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A(x_i)}{\sum_{i=1}^n A(x_i)}$$

Selecionando-se cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{6,2 \times 0,4 + 6,7 \times 0,4 + 8 \times 0,4 + 9,7 \times 0,4 + 10 \times 0,4}{0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,4} = 8,12$$

### B) Pelo método de Médios Máximos

Esse método é definido por:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A(x_i)}{\sum_{i=1}^n A(x_i)}$$

Selecionando-se cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{6,2 + 6,7 + 8 + 9,7 + 10}{5} = 8,12$$

Assim, para ambos os métodos de defuzzyficação, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor de 8,12 para a análise da propagação na sala 1.

## 5. RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos utilizando as 6 salas do ambiente de testes descrito no item 4.1. e aplicando a metodologia descrita no capítulo 4. A defuzzyficação foi realizada através de cálculo manual e posteriormente comparada com os resultados fornecidos pela ferramenta computacional, implementada neste trabalho na plataforma Java.

### 5.1. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 1

Os resultados para a Sala 1 foram calculados, a título de exemplificação, ao longo do capítulo 4, e estão sintetizados na tabela 24.

**Tabela 24: Resultados da Defuzzyficação – Sala 1**

Método	Resultado
Centro de Gravidade	8,12
Médios Máximos	8,12

### 5.2. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 2

#### 5.2.1. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 2 do Ambiente de Teste

A seguir, é descrita a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 2 do ambiente de testes descrita no item 4.2. Assim, a pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é demonstrada nas tabelas e figuras que se seguem.

#### A) Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria - PA

**Tabela 25: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 2**

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((2-0)/(1-0), (4-2)/(4-1)), 0)$	0,67
Médio	$\max(\min((2-2)/(6-2), (8-2)/(8-6)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((2-7)/(9-7), (11-2)/(11-9)), 0)$	0

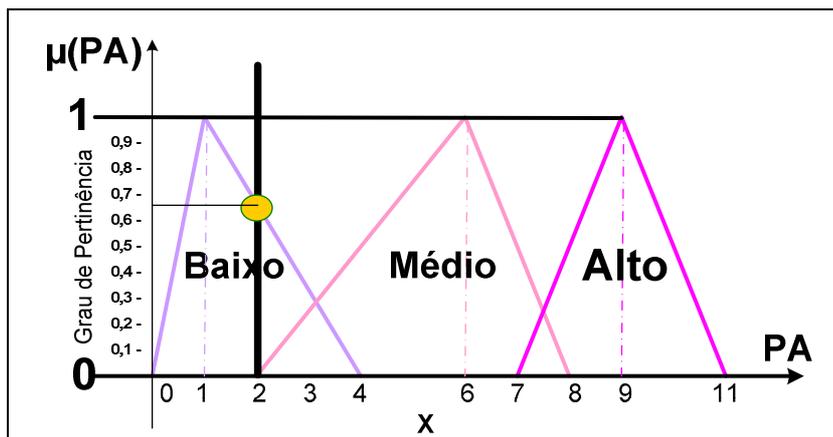


Figura 33: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 2

## B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira - DIV

Tabela 26: Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 2

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((1-(-1))/(0-(-1)), (2-1)/(2-0)), 0)$	0,5
Muitas	$\max(\min((1-1)/(3-1), (5-1)/(5-3)), 0)$	0

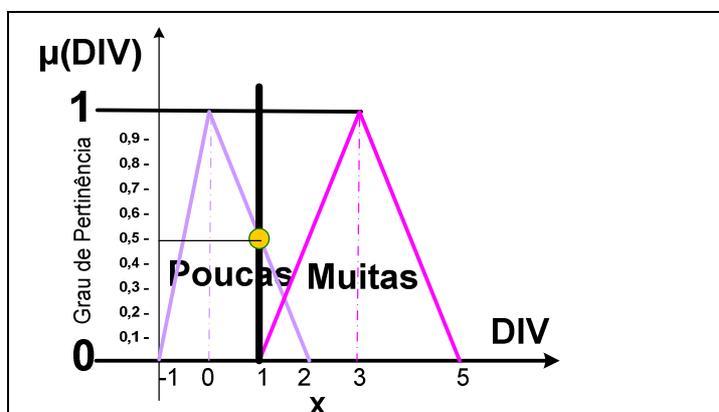


Figura 34: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 2

## C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas - JAN

Tabela 27: Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 2

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((11-0)/(4-0), (9-11)/(9-4)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((11-8)/(11-8), (16-11)/(16-11)), 0)$	1
Alto	$\max(\min((11-14)/(19-14), (22-11)/(22-19)), 0)$	0

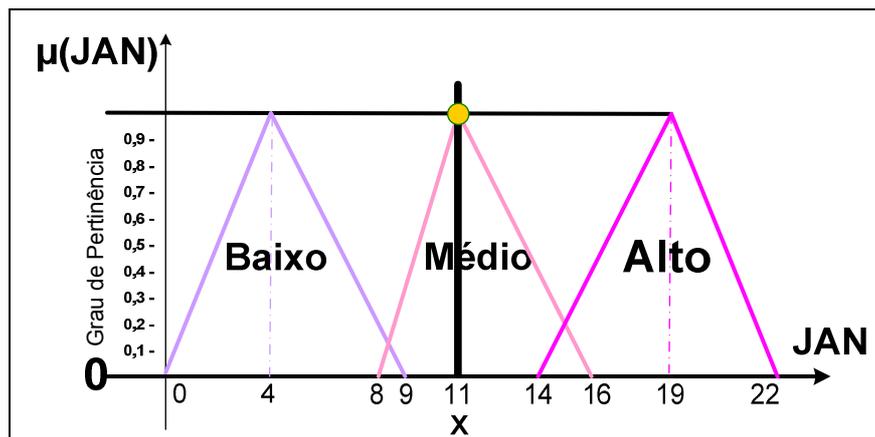


Figura 35: Conjuntos da variável Janelas – Sala 2

#### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos - AM

Tabela 28: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 2

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((4-0)/(1-0), (2-4)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((4-1)/(3-1), (5-4)/(5-3)), 0)$	0,5
Alto	$\max(\min((4-4)/(6-4), (8-4)/(8-6)), 0)$	0

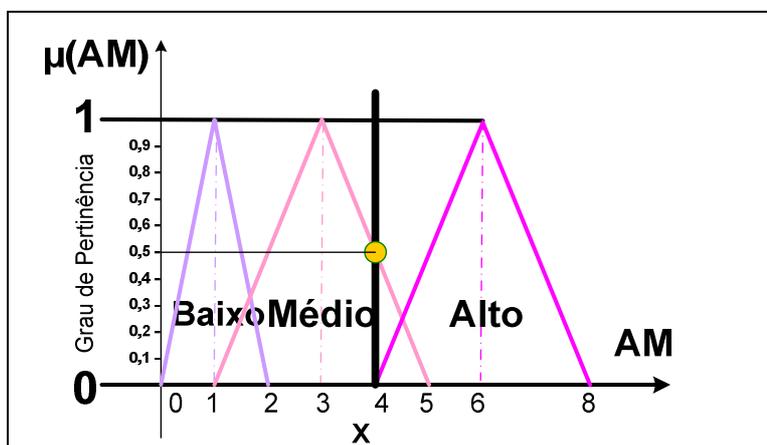


Figura 36: Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 2

#### E) Pertinências aos conjuntos da variável Distância - DIS

Tabela 29: Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 2

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((28-5)/(20-5), (39-28)/(39-20)), 0)$	0,58
Média	$\max(\min((28-35)/(48-35), (52-28)/(52-48)), 0)$	0
Alta	$\max(\min((28-50)/(59-50), (70-28)/(70-59)), 0)$	0

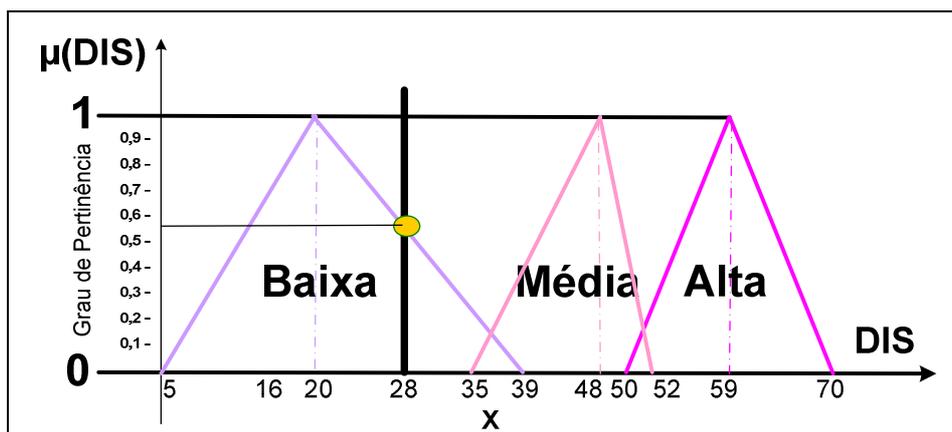


Figura 37: Conjuntos da variável Distância – Sala 2

#### F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho - TAM

Tabela 30: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 2

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((12-6)/(10-6), (14-12)/(14-10)), 0)$	0,5
Grande	$\max(\min((12-12)/(15-12), (20-12)/(20-15)), 0)$	0

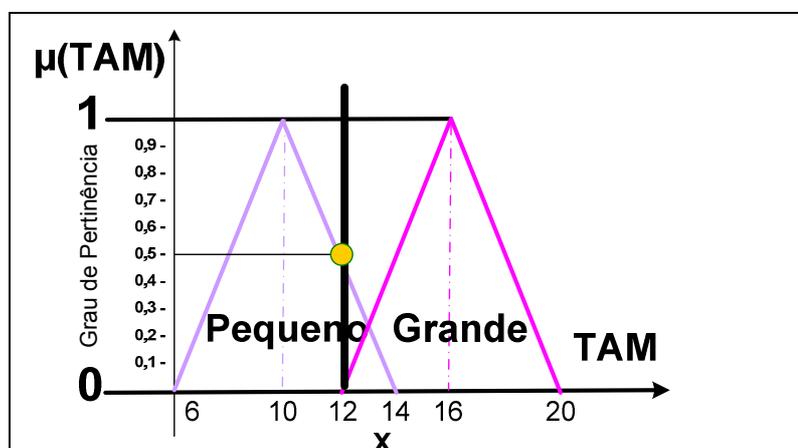


Figura 38: Conjuntos da variável Tamanho – Sala 2

#### 5.2.2. Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 2 do Ambiente de Teste

Os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 5.2.1 estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 31: Resultados da Fuzzyficação – Sala 2

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{\text{Baixo}}(1)=0,67$
Divisórias de Madeira	$\mu_{\text{Poucos}}(1)=0,5$
Janelas	$\mu_{\text{Baixo}}(1)=1$
Armários Metálicos	$\mu_{\text{Médio}}(1)=0,5$
Distancia	$\mu_{\text{Muita}}(1)=0,58$
Tamanho	$\mu_{\text{Grande}}(1)=0,5$

Também nesse caso, devido à simplicidade da situação, tem-se o disparo de uma única regra da base de regras, descrita a seguir.

SE (PA é Baixo) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)

Segundo a operação de implicação de Mandani(min), tem-se que o mínimo dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação é **0,5**. Aplicando a regra acima, teríamos que a saída estaria dentro do conjunto **Obstrução Muito Baixa**, conforme demonstra a figura 39.

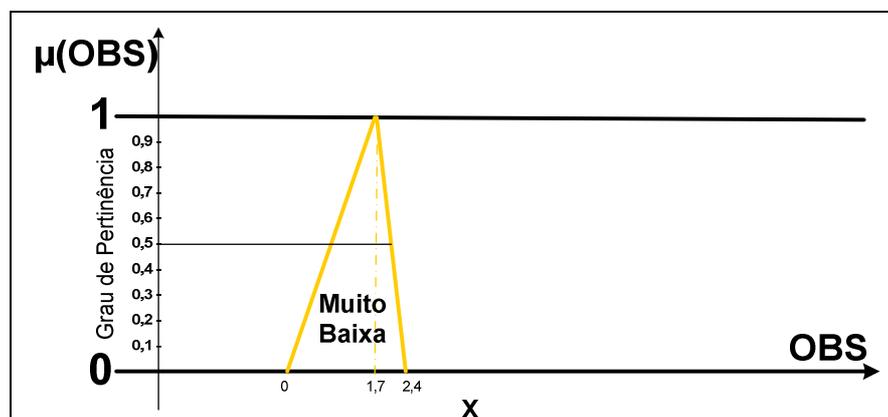


Figura 39: Resultado da Inferência – Sala 2

### 5.2.3. Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 2 do Ambiente de Teste

#### A) Defuzzyficação Método do Centro de Gravidade

Aplicando o método do Centro de Gravidade para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{0 \times 0,5 + 0,85 \times 0,5 + 1,7 \times 0,5 + 2 \times 0,5 + 2,4 \times 0,5}{0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5} = 1,39$$

#### B) Defuzzyficação pelo método de Médios Máximos

Aplicando o método de Médios Máximos para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{0 + 0,85 + 1,7 + 2 + 2,4}{5} = 1,39$$

Assim, para ambos os métodos de defuzzyficação, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor de 1,39 para a análise da propagação na sala 2.

### 5.3. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 3

#### 5.3.1. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 3 do Ambiente de Teste

Está descrita, a seguir, a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 3 do ambiente de testes descrita no item 4.2. A pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é demonstrada nas tabelas e figuras que se seguem.

### A) Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 3

Tabela 32: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((3-0)/(1-0),(4-3)/(4-1)),0)$	0,67
Médio	$\max(\min((3-2)/(6-2),(8-3)/(8-6)),0)$	0
Alto	$\max(\min((3-7)/(9-7),(11-3)/(11-9)),0)$	0

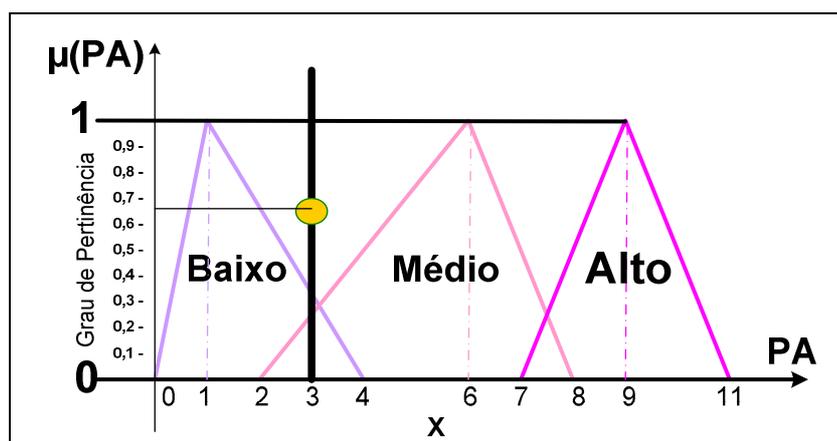


Figura 40: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 3

### B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 3

Tabela 33: Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((2-(-1))/(0-(-1)),(2-2)/(2-0)),0)$	0,5
Muitas	$\max(\min((2-1)/(3-1),(5-2)/(5-3)),0)$	0

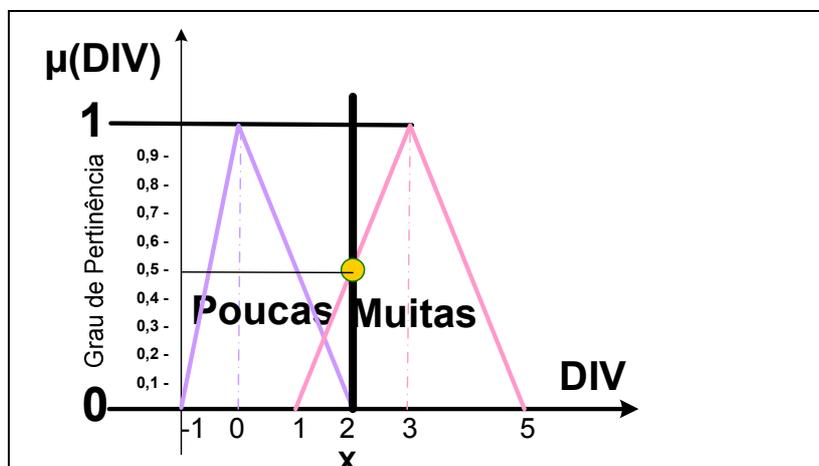


Figura 41: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 3

### C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 3

Tabela 34: Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((15-0)/(4-0), (9-15)/(9-4)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((15-8)/(11-8), (16-15)/(16-11)), 0)$	1
Alto	$\max(\min((15-14)/(19-14), (22-15)/(22-19)), 0)$	0

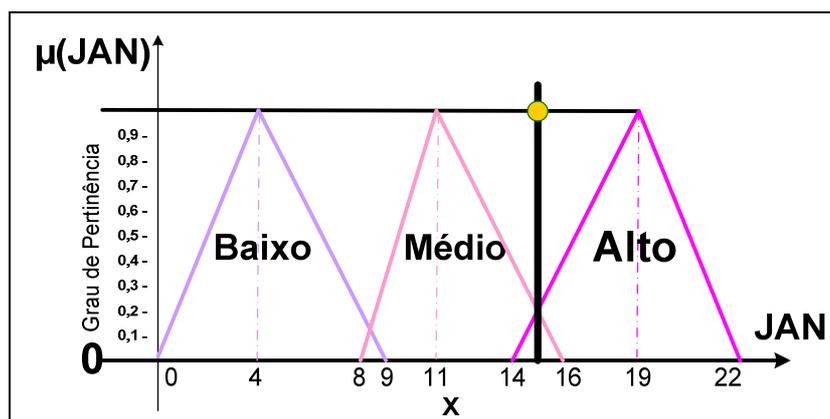


Figura 42: Conjuntos da variável Janelas – Sala 3

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 3

Tabela 35: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((5-0)/(1-0), (2-5)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((5-1)/(3-1), (5-5)/(5-3)), 0)$	0,5
Alto	$\max(\min((5-4)/(6-4), (8-5)/(8-6)), 0)$	0

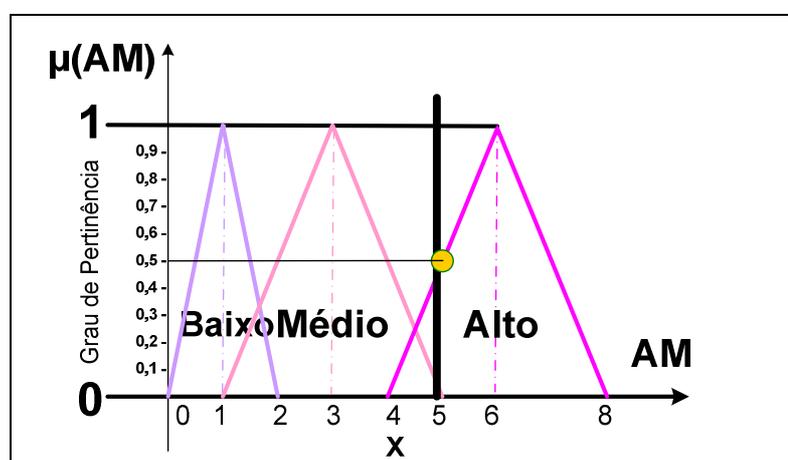


Figura 43: Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 3

### E) Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 3

Tabela 36: Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((34-5)/(20-5), (39-34)/(39-20)), 0)$	0,58
Média	$\max(\min((34-35)/(48-35), (52-34)/(52-48)), 0)$	0
Alta	$\max(\min((34-50)/(59-50), (70-34)/(70-59)), 0)$	0

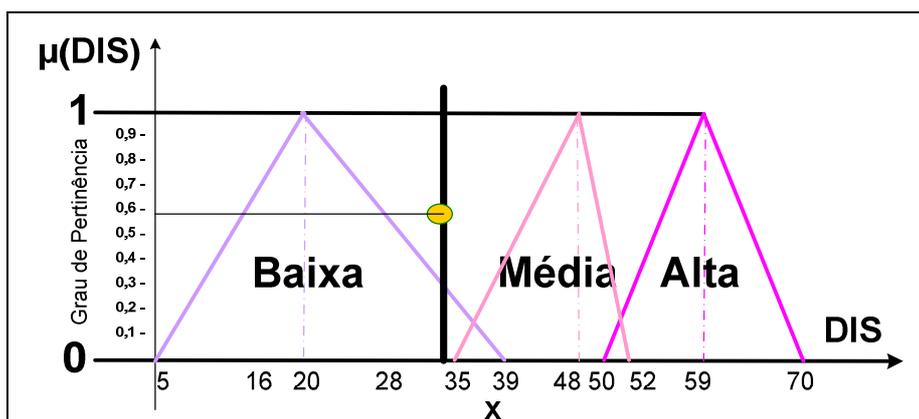


Figura 44: Conjuntos da variável Distância – Sala 3

### F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 3

Tabela 37: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 3

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((6-6)/(10-6), (14-6)/(14-10)), 0)$	0,5
Grande	$\max(\min((6-12)/(15-12), (20-6)/(20-15)), 0)$	0

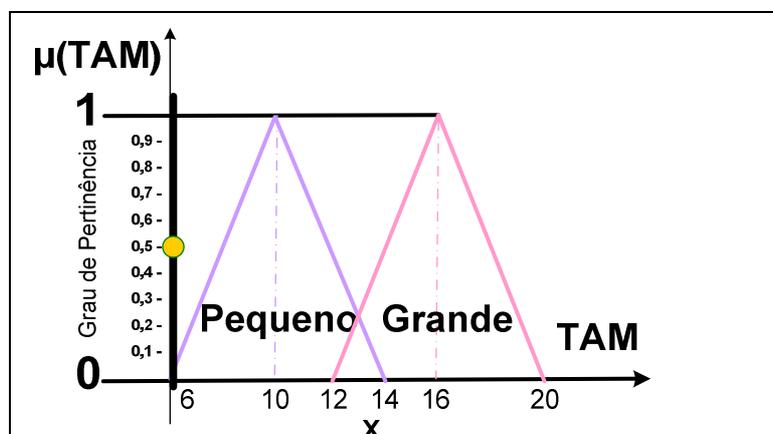


Figura 45: Conjuntos da variável Tamanho – Sala 3

### 5.3.2. Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 3 do Ambiente de Teste

Os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 5.3.1 estão resumidos na tabela a seguir.

**Tabela 38: Resultados da Fuzzyficação – Sala 3**

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{\text{Baixo}}(1)=0,33$ ; $\mu_{\text{Médio}}(1)=0,25$
Divisórias de Madeira	$\mu_{\text{Muitas}}(1)=0,5$
Janelas	$\mu_{\text{Médio}}(1)=0,2$ ; $\mu_{\text{Alto}}(1)=0,2$
Armários Metálicos	$\mu_{\text{Alta}}(1)=0,5$
Distancia	$\mu_{\text{Pequena}}(1)=0,26$
Tamanho	$\mu_{\text{Pequeno}}(1)=0$

Nesse caso, tem-se o disparo de oito regras da base de regras, descritas a seguir.

(10) SE (PA é Baixo) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(11) SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(17)SE (PA é Baixo) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(18)SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(31) SE (PA é Baixo) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Pequena) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(32)SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Pequena) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(33)SE (PA é Baixo) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

(34)SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)

Segundo a operação de implicação de Mandani(min), tem-se que o mínimo dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação é **0,2**. Aplicando as regras acima, teríamos que a saída estaria dentro do conjunto **Obstrução NULA**, conforme demonstra a figura a seguir.

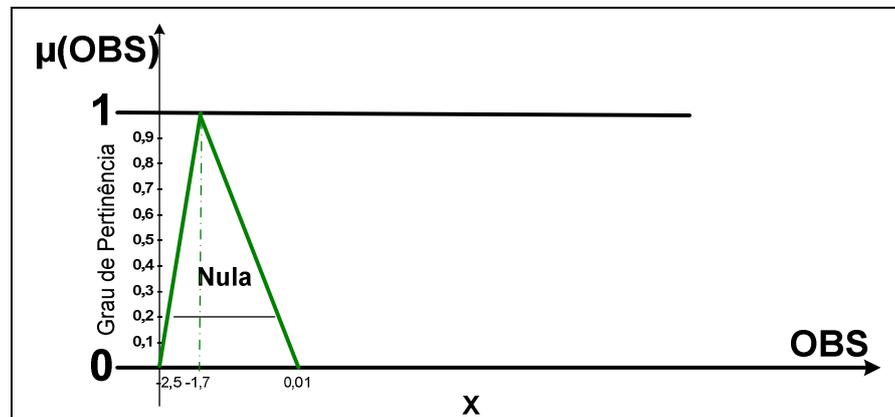


Figura 46: Resultado da Inferência – Sala 3

### 5.3.3. Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 3 do Ambiente de Teste

#### A) Defuzzyficação Método do Centro de Gravidade

Aplicando o método do Centro de Gravidade para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{-2,5 \cdot 0,2 - 2,3 \cdot 0,2 - 1,8 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,2 + 0,01 \cdot 0,2}{0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2} = -1,33$$

#### B) Defuzzyficação pelo método de Médios Máximos

Aplicando o método de Médios Máximos para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{-2,5 - 2,3 - 1,8 - 0,1 + 0,01}{5} = -1,34$$

Em suma, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor médio de  $-1,335$  para a análise da propagação na sala 3.

#### 5.4. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 4

##### 5.4.1. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 4 do Ambiente de Teste

Está descrita, a seguir, a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 4 do ambiente de testes descrita no item 4.2. A pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é demonstrada nas tabelas e figuras que se seguem.

#### A) Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 4

Tabela 39: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((6-0)/(1-0), (4-6)/(4-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((6-2)/(6-2), (8-6)/(8-6)), 0)$	1
Alto	$\max(\min((6-7)/(9-7), (11-6)/(11-9)), 0)$	0

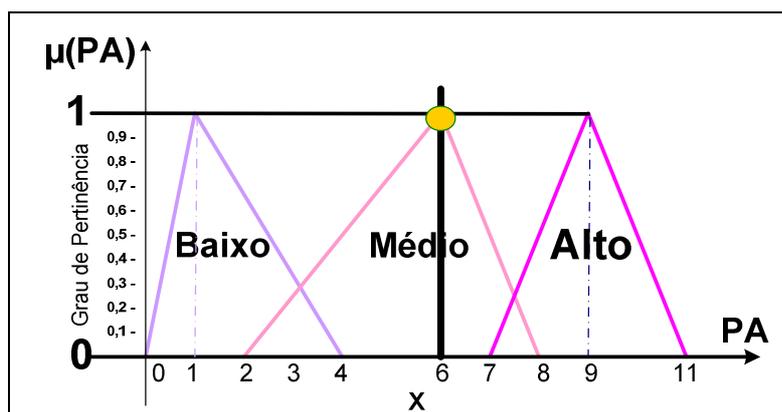


Figura 47: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 4

## B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 4

Tabela 40: Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((2-(-1))/(0-(-1)),(2-2)/(2-0)),0)$	0
Muitas	$\max(\min((2-1)/(3-1),(5-2)/(5-3)),0)$	0,5

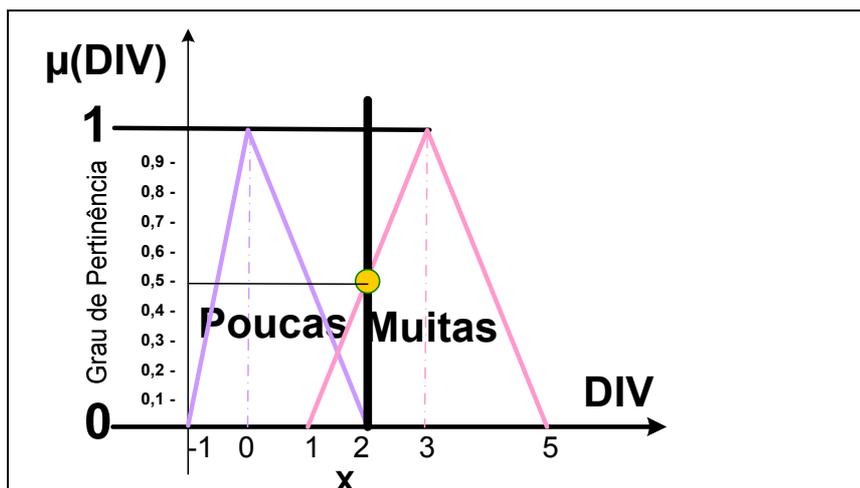


Figura 48: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 4

## C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 4

Tabela 41: Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((17-0)/(4-0),(9-17)/(9-4)),0)$	0
Médio	$\max(\min((17-8)/(11-8),(16-17)/(16-11)),0)$	0
Alto	$\max(\min((17-14)/(19-14),(22-17)/(22-19)),0)$	0,6

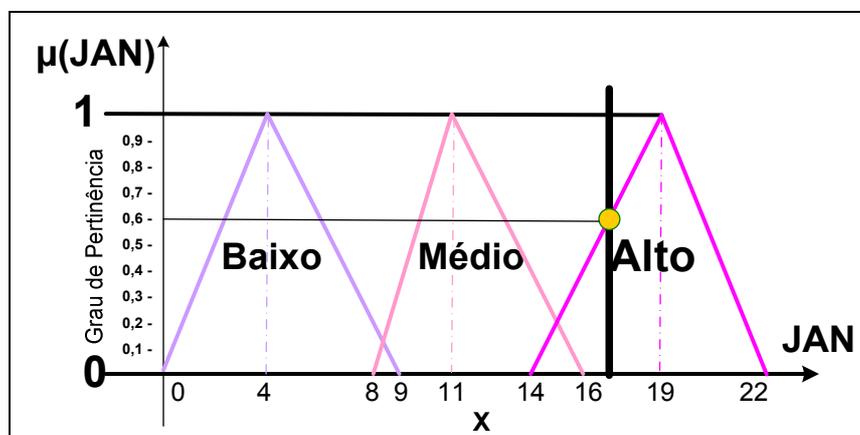


Figura 49: Conjuntos da variável Janelas – Sala 4

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 4

Tabela 42: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((6-0)/(1-0), (2-6)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((6-1)/(3-1), (5-6)/(5-3)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((6-4)/(6-4), (8-6)/(8-6)), 0)$	1

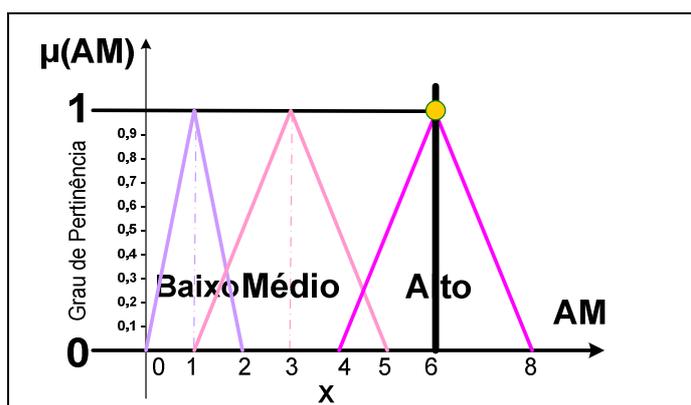


Figura 50: Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 4

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 4

Tabela 43: Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((44-5)/(20-5), (39-44)/(39-20)), 0)$	0
Média	$\max(\min((44-35)/(48-35), (52-44)/(52-48)), 0)$	0,7
Alta	$\max(\min((44-50)/(59-50), (70-44)/(70-59)), 0)$	0

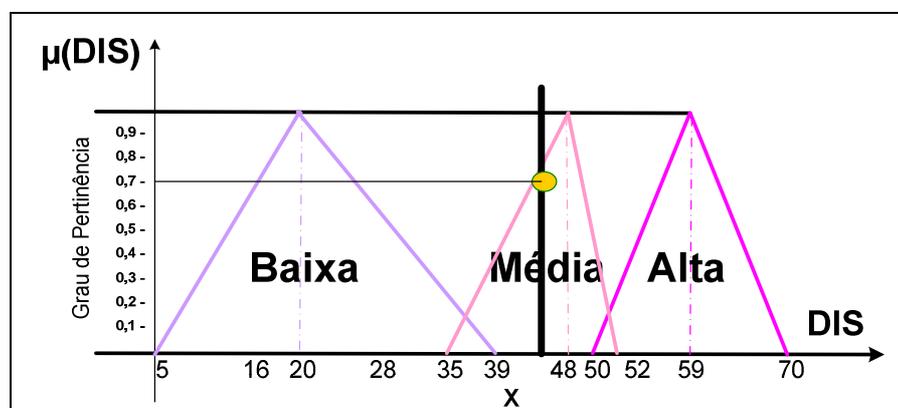


Figura 51: Conjuntos da variável Distância – Sala 4

## F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 4

Tabela 44: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 4

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((10-6)/(10-6), (14-10)/(14-10)), 0)$	1
Grande	$\max(\min((10-12)/(15-12), (20-10)/(20-15)), 0)$	0

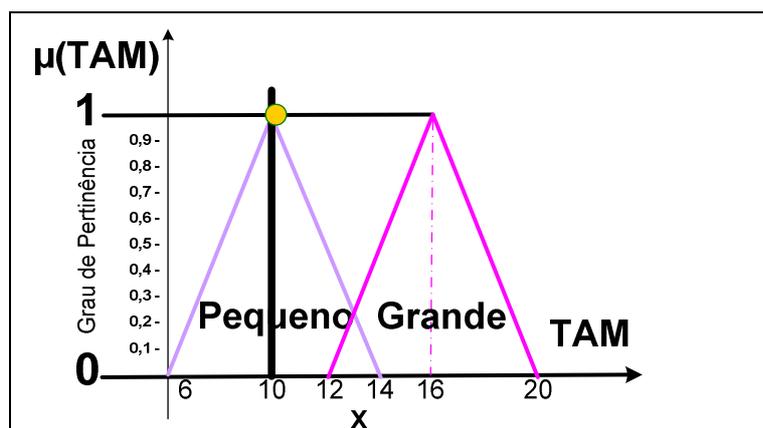


Figura 52: Conjuntos da variável Tamanho – Sala 4

### 5.4.2. Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 4 do Ambiente de Teste

Os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 5.4.1 estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 45: Resultados da Fuzzyficação – Sala 4

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{\text{Médio}}(1)=1$ ;
Divisórias de Madeira	$\mu_{\text{Muitas}}(1)=0,5$
Janelas	$\mu_{\text{Muitas}}(1)=0,6$ ;
Armários Metálicos	$\mu_{\text{Alta}}(1)=1$
Distancia	$\mu_{\text{Médio}}(1)=0,7$
Tamanho	$\mu_{\text{Pequeno}}(1)=1$

Nesse caso, tem-se o disparo de apenas uma das regras da base de regras, descrita a seguir.

(36) SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Muitas) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é ALTA)

Segundo a operação de implicação de Mandani(min), tem-se que o mínimo dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação é **0,5**. Aplicando a regra (36), teríamos que a saída estaria dentro do conjunto **Obstrução ALTA**, conforme demonstra a Figura 51.

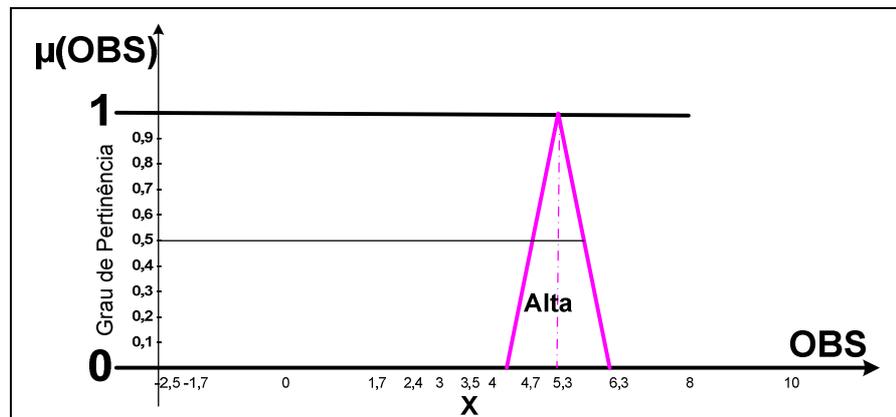


Figura 53: Resultado da Inferência – Sala 4

### 5.4.3. Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 4 do Ambiente de Teste

#### A) Defuzzyficação Método do Centro de Gravidade

Aplicando o método do Centro de Gravidade para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{4,3 \times 0,5 + 4,8 \times 0,5 + 5,3 \times 0,5 + 5,8 \times 0,5 + 6,3 \times 0,5}{0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5} = 5,3$$

#### B) Defuzzyficação pelo método de Médios Máximos

Aplicando o método de Médios Máximos para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{4,3 + 4,8 + 5,3 + 5,8 + 6,3}{5} = 5,3$$

Assim, para ambos os métodos de defuzzyficação, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor de 5,3 para a análise da propagação na sala 4.

## 5.5. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 5

### 5.5.1. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 5 do Ambiente de Teste

Está descrita, a seguir, a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 5 do ambiente de testes descrita no item 4.2. A pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é demonstrada nas tabelas e figuras que se seguem.

#### A) Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 5

Tabela 46: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((8-0)/(1-0), (4-8)/(4-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((8-2)/(6-2), (8-8)/(8-6)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((8-7)/(9-7), (11-8)/(11-9)), 0)$	0,5

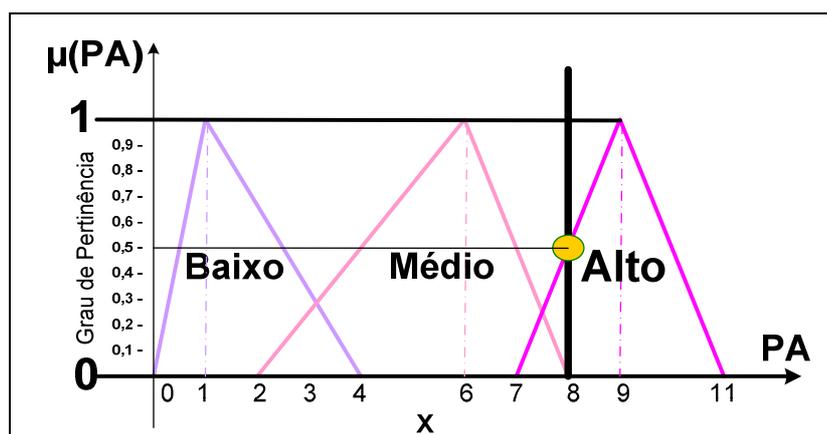


Figura 54: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 5

## B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 5

Tabela 47: Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((3-(-1))/(0-(-3)),(2-2)/(2-0)),0)$	0
Muitas	$\max(\min((3-1)/(3-3),(5-2)/(5-3)),0)$	1

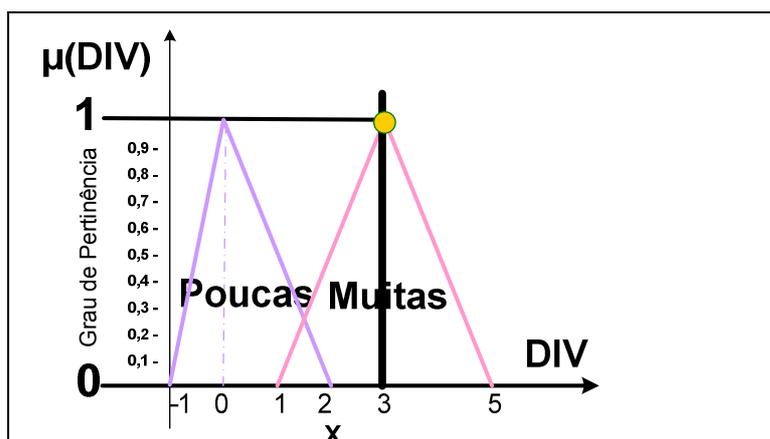


Figura 55: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 5

## C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 5

Tabela 48: Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((18-0)/(4-0),(9-18)/(9-4)),0)$	0
Médio	$\max(\min((18-8)/(11-8),(16-18)/(16-11)),0)$	0
Alto	$\max(\min((18-14)/(19-14),(22-18)/(22-19)),0)$	0,8

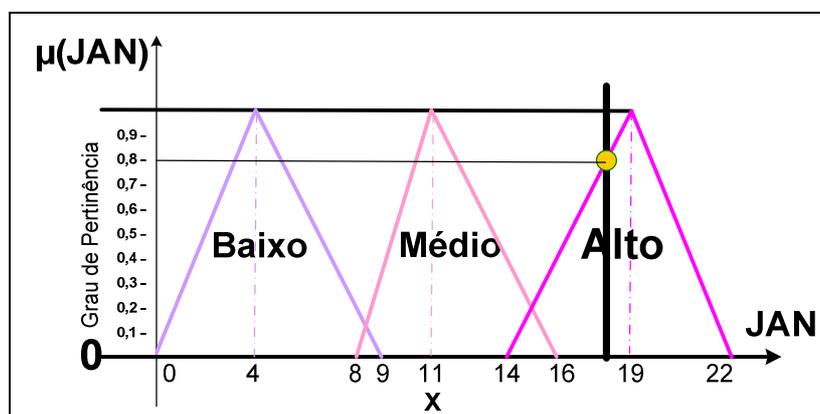


Figura 56: Conjuntos da variável Janelas – Sala 5

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 5

Tabela 49: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((6-0)/(1-0), (2-6)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((6-1)/(3-1), (5-6)/(5-3)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((6-4)/(6-4), (8-6)/(8-6)), 0)$	1

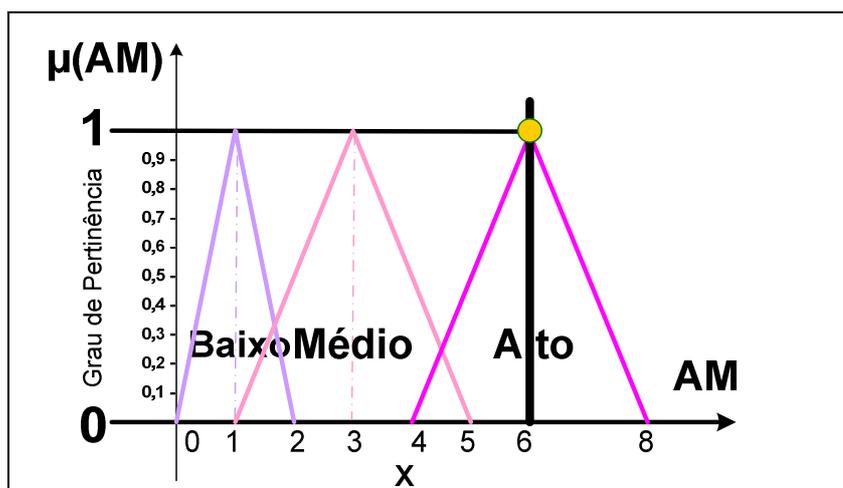


Figura 57: Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 5

### E) Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 5

Tabela 50: Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((54-5)/(20-5), (39-54)/(39-20)), 0)$	0
Média	$\max(\min((54-35)/(48-35), (52-54)/(52-48)), 0)$	0
Alta	$\max(\min((54-50)/(59-50), (70-54)/(70-59)), 0)$	0,44

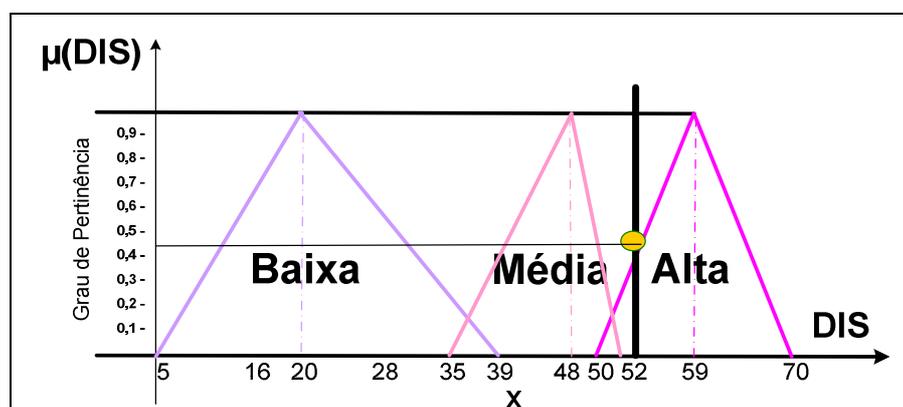


Figura 58: Conjuntos da variável Distância – Sala 5

## F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 5

Tabela 51: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 5

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((10-6)/(10-6),(14-10)/(14-10)),0)$	1
Grande	$\max(\min((10-12)/(15-12),(20-10)/(20-15)),0)$	0

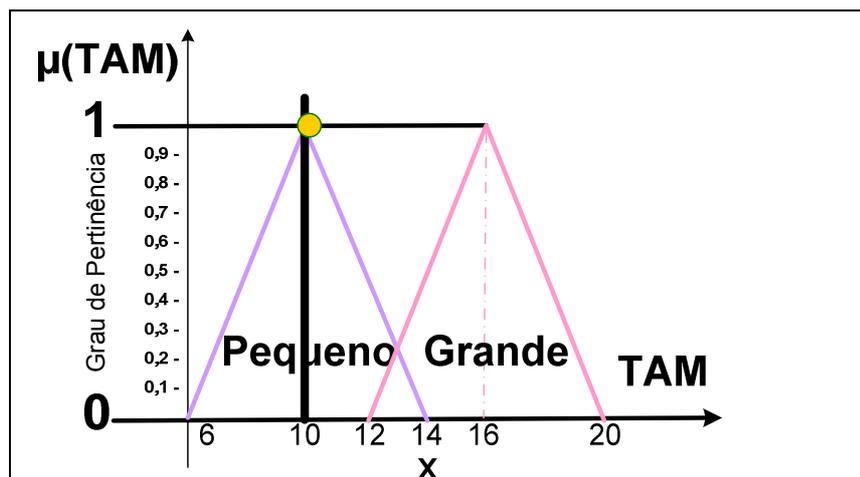


Figura 59: Conjuntos da variável Tamanho – Sala 5

### 5.5.2. Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 5 do Ambiente de Teste

Os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 5.5.1 estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 52: Resultados da Fuzzyficação – Sala 5

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{Alta}(1)=0,5;$
Divisórias de Madeira	$\mu_{Muitas}(1)=1$
Janelas	$\mu_{Muitas}(1)=0,8;$
Armários Metálicos	$\mu_{Alta}(1)=1$
Distancia	$\mu_{Alta}(1)=0,44$
Tamanho	$\mu_{Pequeno}(1)=1$

Nesse caso, tem-se o disparo de apenas uma das regras da base de regras, descrita a seguir.

(38) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Muitas) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é BAIXA)

Segundo a operação de implicação de Mandani(min), tem-se que o mínimo dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação é **0,44**. Aplicando a regra (38), teríamos que a saída estaria dentro do conjunto **Obstrução BAIXA**, conforme demonstra a Figura 58.

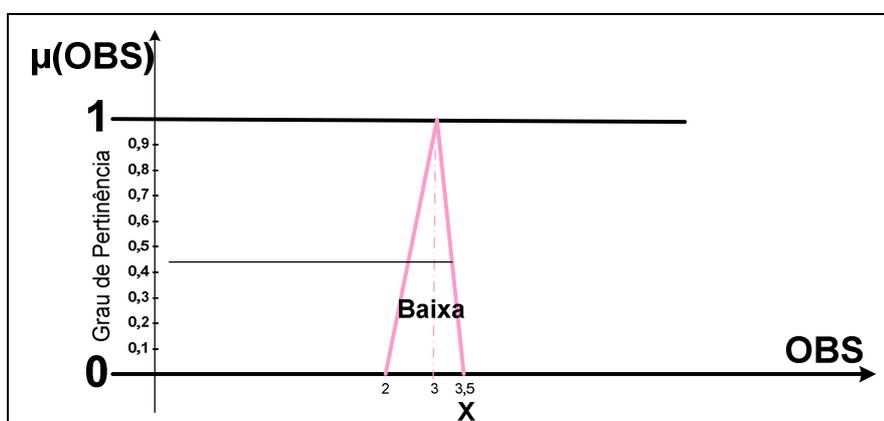


Figura 60: Resultado da Inferência – Sala 5

### 5.5.3. Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 5 do Ambiente de Teste

#### A) Defuzzyficação Método do Centro de Gravidade

Aplicando o método do Centro de Gravidade para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{2 \times 0,44 + 2,4 \times 0,44 + 3 \times 0,44 + 3,2 \times 0,44 + 3,5 \times 0,44}{0,44 + 0,44 + 0,44 + 0,44 + 0,44} = 2,82$$

#### B) Defuzzyficação pelo método de Médios Máximos

Aplicando o método de Médios Máximos para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{2 + 2,4 + 3 + 3,2 + 3,5}{5} = 2,82$$

Assim, para ambos os métodos de defuzzyficação, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor de 2,82 para a análise da propagação na sala 5.

## 5.6. Resultados Obtidos por Cálculo Manual para a Sala 6

### 5.6.1. Aplicação de Fuzzyficação – Sala 6 do Ambiente de Teste

Está descrita, a seguir, a obtenção das pertinências às variáveis nebulosas propostas para entrada da base de regras, tendo como referência os dados obtidos da caracterização da sala 6 do ambiente de testes descrita no item 4.2. A pertinência às variáveis de entrada para essa sala, considerando-se funções triangulares, é demonstrada nas tabelas e figuras que se seguem.

#### A) Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 6

Tabela 53: Pertinências aos conjuntos da variável Paredes de Alvenaria

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((10-0)/(1-0), (4-10)/(4-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((10-2)/(6-2), (8-10)/(8-6)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((10-7)/(9-7), (11-10)/(11-9)), 0)$	0,5

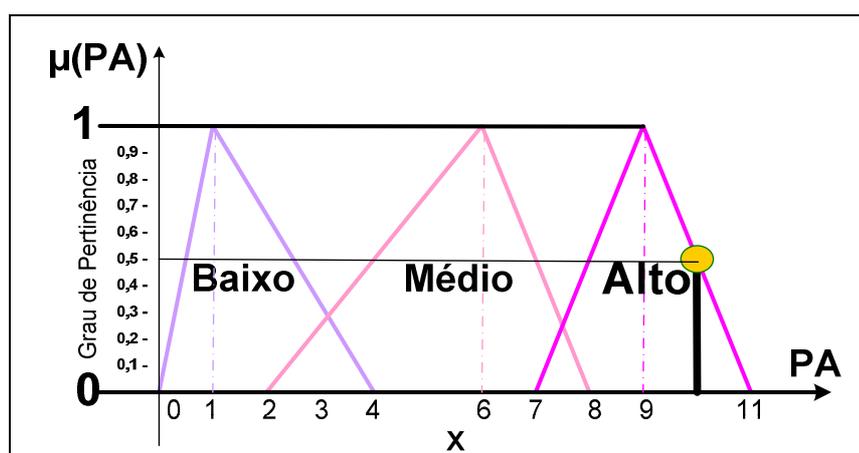


Figura 61: Conjuntos da variável Paredes de Alvenaria – Sala 6

## B) Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 6

Tabela 54: Pertinências aos conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 6

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Poucas	$\max(\min((4-(-1))/(0-(-4)),(2-2)/(2-0)),0)$	0
Muitas	$\max(\min((4-1)/(3-3),(5-4)/(5-3)),0)$	0,5

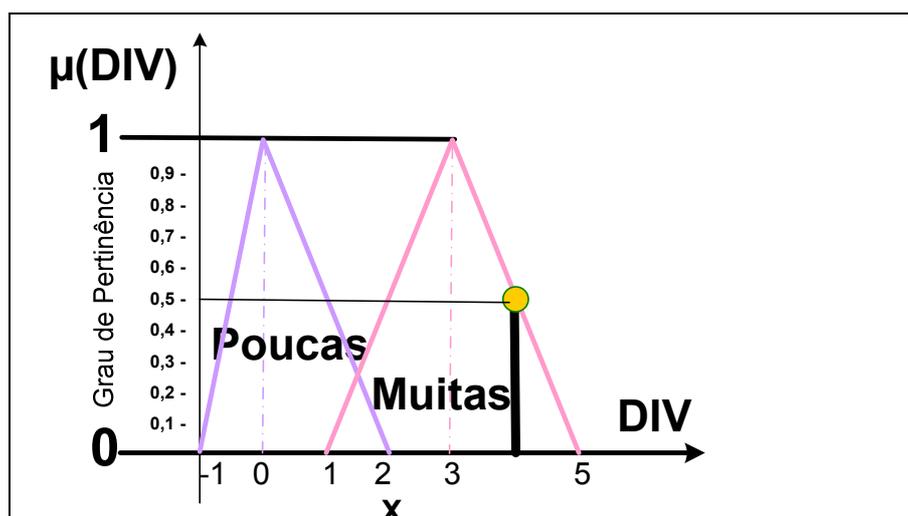


Figura 62: Conjuntos da variável Divisórias de Madeira – Sala 6

## C) Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 6

Tabela 55: Pertinências aos conjuntos da variável Janelas – Sala 6

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((19-0)/(4-0),(9-19)/(9-4)),0)$	0
Médio	$\max(\min((19-8)/(11-8),(16-19)/(16-11)),0)$	0
Alto	$\max(\min((19-14)/(19-14),(22-19)/(22-19)),0)$	1

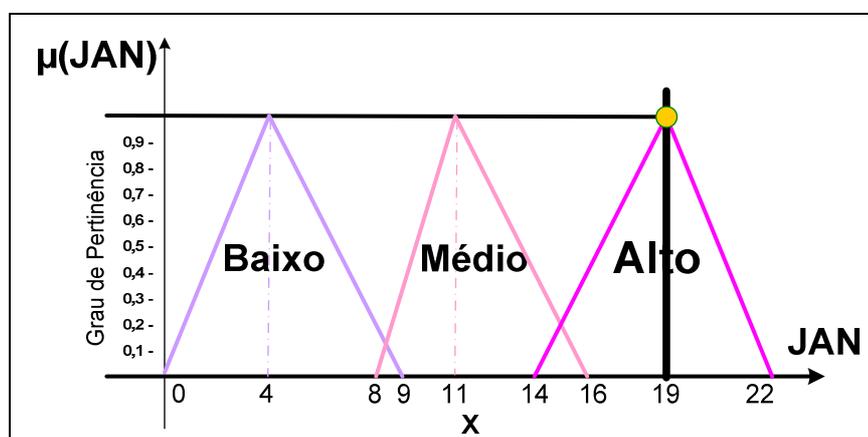


Figura 63: Conjuntos da variável Janelas – Sala 6

### D) Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 6

Tabela 56: Pertinências aos conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 6

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixo	$\max(\min((6-0)/(1-0), (2-6)/(2-1)), 0)$	0
Médio	$\max(\min((6-1)/(3-1), (5-6)/(5-3)), 0)$	0
Alto	$\max(\min((6-4)/(6-4), (8-6)/(8-6)), 0)$	1

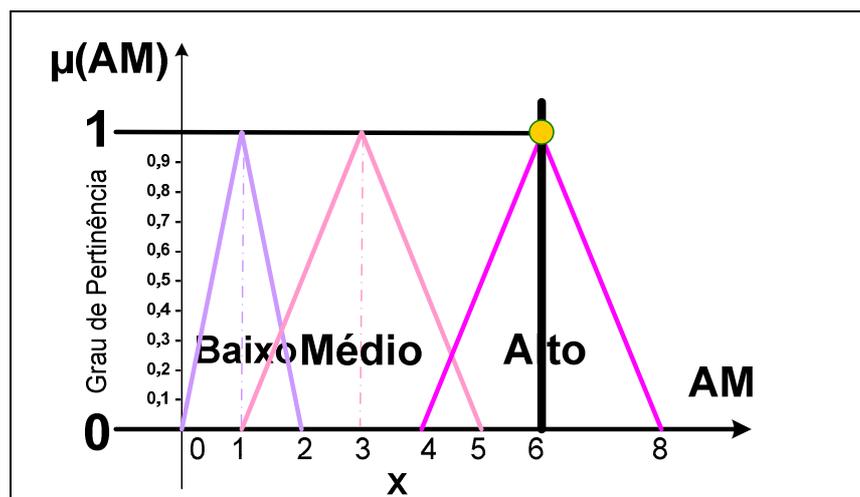


Figura 64: Conjuntos da variável Armários Metálicos – Sala 6

### E) Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 6

Tabela 57: Pertinências aos conjuntos da variável Distância – Sala 6

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Baixa	$\max(\min((64-5)/(20-5), (39-64)/(39-20)), 0)$	0
Média	$\max(\min((64-35)/(48-35), (52-64)/(52-48)), 0)$	0
Alta	$\max(\min((64-50)/(59-50), (70-64)/(70-59)), 0)$	0,54

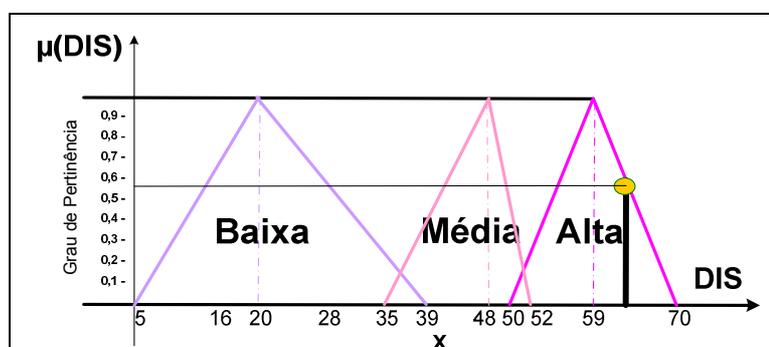


Figura 65: Conjuntos da variável Distância – Sala 6

## F) Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 6

Tabela 58: Pertinências aos conjuntos da variável Tamanho – Sala 6

Valor L.	Função de Pertinência	FP
Pequeno	$\max(\min((13-6)/(10-6), (14-13)/(14-10)), 0)$	0,25
Grande	$\max(\min((13-12)/(15-12), (20-13)/(20-15)), 0)$	0,33

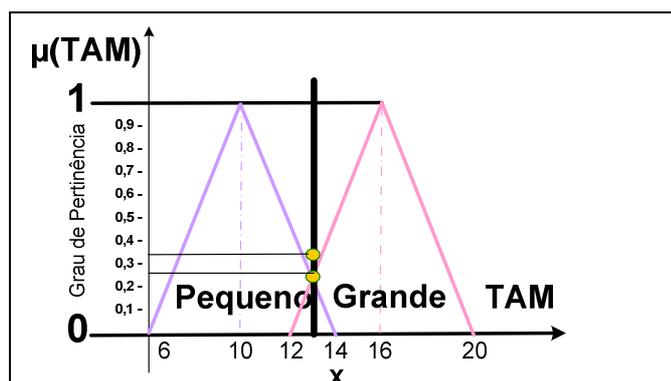


Figura 66: Conjuntos da variável Tamanho – Sala 6

### 5.6.2. Aplicação de Inferência Nebulosa à Sala 6 do Ambiente de Teste

Os resultados da etapa de fuzzyficação descritos no item 5.6.1 estão resumidos na tabela a seguir.

Tabela 59: Resultados da Fuzzyficação – Sala 6

Variável Lingüística	FP
Paredes de Alvenaria	$\mu_{Alta}(1)=0,5;$
Divisórias de Madeira	$\mu_{Muitas}(1)=0,5;$
Janelas	$\mu_{Muitas}(1)=1;$
Armários Metálicos	$\mu_{Alta}(1)=1$
Distancia	$\mu_{Alta}(1)=0,54$
Tamanho	$\mu_{Pequeno}(1)=0,25;$ $\mu_{Grande}(1)=0,33$

Nesse caso, tem-se o disparo de duas regras da base de regras, descritas a seguir.

(38) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Muitas) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é BAIXA)

(39) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Muitas) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)

Segundo a operação de implicação de Mandani(min), tem-se que o mínimo dentre as funções de pertinência resultantes da fuzzyficação é **0,25 (BAIXA)** e **0,33 (MUITO BAIXA)**. Aplicando as regras (38) e (39), teríamos que a saída estaria dentro do conjunto **Obstrução BAIXA e MUITO BAIXA**, conforme demonstram a Figura 65 e a Figura 66 respectivamente.

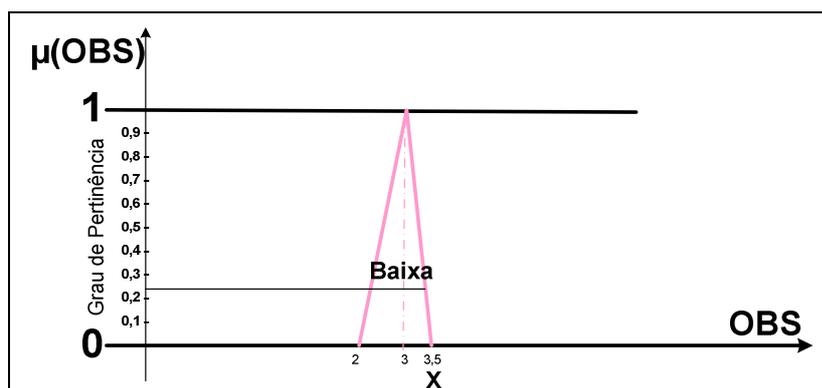


Figura 67: Resultado da Inferência Conjunto Baixa – Sala 6

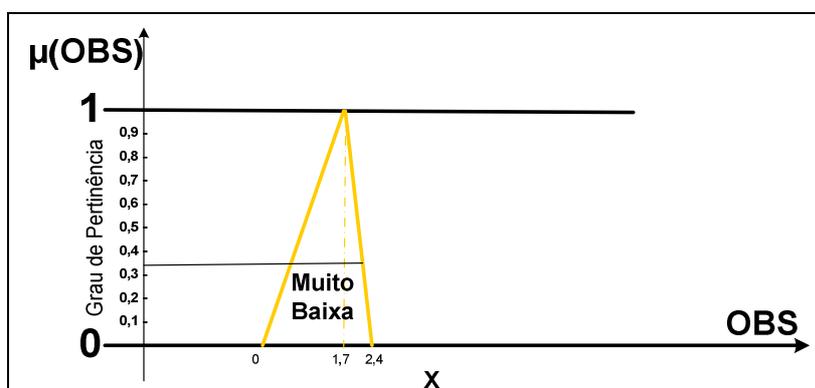


Figura 68: Resultado da Inferência Conjunto Muito Baixa – Sala 6

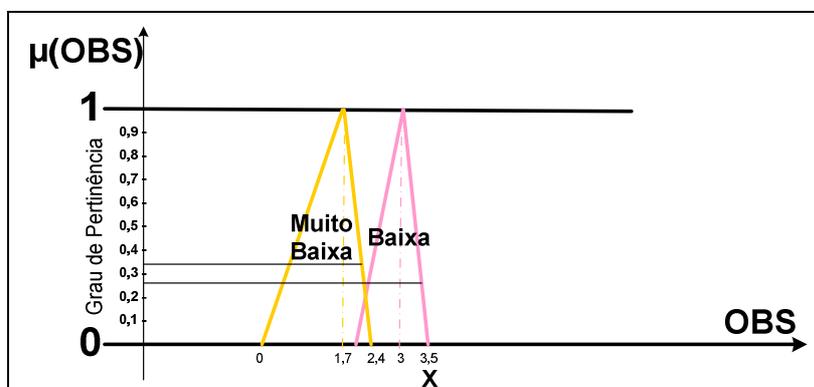


Figura 69: Resultado da Inferência – Sala 6

### 5.6.3. Aplicação da Defuzzyficação para a Sala 6 do Ambiente de Teste

#### A) Defuzzyficação Método do Centro de Gravidade

Aplicando o método do Centro de Gravidade para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{0,3 \times 0,25 + 1,7 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 2,4 \times 0,33 + 3 \times 0,33 + 3,3 \times 0,33}{0,25 + 0,25 + 0,25 + 0,33 + 0,33 + 0,33} = 2,23$$

#### B) Defuzzyficação pelo método de Médios Máximos

Aplicando o método de Médios Máximos para cinco pontos da variável de saída, tem-se:

$$u = \frac{0,3 + 1,7 + 2 + 2,4 + 3 + 3,3}{6} = 2,12$$

Assim, a variável de saída “Obstrução” resultou em um valor médio de 2,175 para a análise da propagação na sala 6.

### 5.7. Resultados Obtidos por Cálculo com a Ferramenta Computacional

A seguir, estão apresentados os resultados obtidos usando a ferramenta computacional implementada neste trabalho e descrita em maiores detalhes no Anexo II. Esta ferramenta, para fazer o cálculo dos resultados da defuzzyficação, utiliza 10000 pontos dentro da área de pertinência, o que possibilita a obtenção de um resultado com um maior nível de discretização e, conseqüentemente, com menor margem de erro.

### 5.7.1. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 1

A tabela 60 apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 1.

**Tabela 60: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 1**

Método	Resultado
Centro de Gravidade	8,05
Médios Máximos	7,94

### 5.7.2. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 2

Analogamente, a tabela a seguir apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 2.

**Tabela 61: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 2**

Método	Resultado
Centro de Gravidade	-0,14
Médios Máximos	0,07

### 5.7.3. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 3

De forma similar, a tabela a seguir apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 3.

**Tabela 62: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 3**

Método	Resultado
Centro de Gravidade	-0,26
Médios Máximos	-0,26

#### 5.7.4. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 4

A tabela a seguir apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 4.

**Tabela 63: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 4**

<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
Centro de Gravidade	5,31
Médios Máximos	5,2

#### 5.7.5. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 5

A tabela a seguir apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 5.

**Tabela 64: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 5**

<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
Centro de Gravidade	1,92
Médios Máximos	2,13

#### 5.7.6. Resultados Obtidos por Cálculo Computacional para a Sala 6

Finalmente, a tabela a seguir apresenta o resultado final da aplicação das regras nebulosas, expresso pelo valor da variável “Obstrução” já defuzzyficada para os métodos do Centro de Gravidade e de Médios Máximos, para a Sala 6.

**Tabela 65: Resumo de resultados da Defuzzyficação – Sala 6**

<b>Método</b>	<b>Resultado</b>
Centro de Gravidade	1,78
Médios Máximos	1,78

## 5.8. Síntese dos Resultados Obtidos

A seguir, são apresentados os resultados obtidos de maneira empírica (através de medições, conforme explicitado no Capítulo 4) e usando os métodos de cálculo manual e computacional, através dos métodos de defuzzyficação do Centro de Gravidade (CG) e de Médios Máximos (MM).

**Tabela 66: Síntese dos Resultados Obtidos**

Sala	Calculo Empírico	Manual		Computacional	
		CG	MM	CG	MM
1	8,1116	8,12	8,12	8,05	7,94
2	0,02011	1,39	1,39	-0,14	0,07
3	-1,4018	-1,33	-1,34	-0,26	-0,26
4	4,7992	5,3	5,3	5,31	5,2
5	2,9495	2,82	2,82	1,92	2,13
6	1,8988	2,23	2,12	1,79	2,13

### 5.8.1. Análise de Resultados - Sala 1

Como mostrado na tabela, os resultados para a Sala 1 foram muito semelhantes nos diferentes tipos de cálculos. Os erros apresentados entre o cálculo empírico e o manual foram de 0,1% para os métodos CG e MM; e, em relação ao cálculo computacional, foram de 0,7% para o método CG e de 2% para o método MM.

### 5.8.2. Análise de Resultados - Sala 2

No caso da Sala 2, os resultados do calculo empírico como do computacional estão próximos; apresentam uma diferença de 85% para o método CG e 71% para o método MM, mas o porte dessas porcentagens de erro se justifica pelo baixo valor apresentado pelo método empírico (muito próximo de zero) o que gera distorções quando se analisa o erro percentual. Nesse caso específico, o erro absoluto (0,16 para o CG e 0,05 para o MM) se configura como um indicador de proximidade melhor que o erro percentual. Já a significativa diferença obtida entre o dado empírico e o cálculo manual pode ser justificada em função da escolha

dos pontos tomados na defuzzyficação, que podem não ser os mais representativos da variável de saída em relação à sua função de pertinência.

### **5.8.3. Análise de Resultados - Sala 3**

Neste caso, os métodos manuais e o empírico forneceram resultados bastante similares; um ponto interessante a se destacar na Sala 3 é que os resultados indicam um ganho ao invés de uma perda de sinal. Pode-se observar também que o cálculo computacional mostra, de forma similar, uma tendência para a obtenção de ganho (o sinal negativo, neste caso, indica ganho), embora não na mesma intensidade dos primeiros métodos mencionados. Este é um fato interessante, uma vez que a base de regras foi projetada apenas com base nas situações de atenuação (que representam somente perdas no sinal), mas levando em conta conhecimento especialista; o aparecimento de situações onde o sinal da atenuação é invertido, significando ganho, demonstra a capacidade da base de regras de extrapolar o conhecimento contido originalmente nas mesmas para atender a situações que não estão explicitamente descritas na sua geração.

### **5.8.4. Análise de Resultados - Sala 4**

Os resultados para a Sala 4 podem ser considerados próximos para os diferentes tipos de cálculos. Os erros apresentados entre o cálculo empírico e o manual foram de 10% para os métodos CG e MM; e, em relação ao cálculo computacional, foram de 11% para o método CG e de 8% para o método MM.

### **5.8.5. Análise de Resultados - Sala 5**

No caso da sala 5, os erros apresentados entre o cálculo empírico e o manual foram de 4% para os métodos CG e MM; e, em relação ao cálculo computacional, foram de 34% para o método CG e de 27% para o método MM. Tendo-se em vista a imprecisão inerente à lógica nebulosa, estes resultados podem ser considerados satisfatórios.

### **5.8.6. Análise de Resultados - Sala 6**

Assim como no caso da Sala 4, os resultados para a Sala 6 também podem ser considerados próximos para os diferentes tipos de cálculos. Os erros apresentados entre o cálculo empírico e o manual foram de 15% para o método CG e de 11% para o método MM; e, em relação ao cálculo computacional, foram de 5% para o método CG e de 11% para o método MM.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo explorar um novo método para a análise da atenuação do sinal, com o propósito adicional de simplificar (do ponto de vista do esforço computacional e empírico) a tarefa de caracterização do ambiente, através da utilização de Lógica Nebulosa para obter o parâmetro Beta em Modelos de Shadowing.

Na literatura atual, existem diversos modelos de propagação do sinal que permitem prever a potência do sinal de recepção. Alguns deles levam em conta os obstáculos encontrados no meio, outros só consideram a distância como fator que ocasiona atenuação do sinal.

No entanto, para realizar um cálculo real da potência do sinal de recepção, é necessário levar em conta os obstáculos presentes no meio, já que os mesmos, como salientado neste trabalho, provocam obstrução na transmissão do sinal gerando atenuação da mesma.

Em relação a redes sem fio, por fazerem uso de um meio de transmissão não guiado, deve-se considerar que estão expostas a interferências ocasionadas pela topologia das estruturas e objetos presentes no meio, tais como: paredes, janelas, objetos metálicos, *layout* de edificações, portas, etc., cujos efeitos na atenuação do sinal são complexos de estimar. Por outro lado, a maioria dos modelos matemáticos, adotados atualmente para tratar desse problema, considera as paredes e andares como fatores que atenuam o sinal, mas não levam explicitamente em conta a quantidade e a natureza dos componentes internos e de *layout* das edificações, como os objetos metálicos, as janelas, as portas, dentre outros.

Dentre os modelos matemáticos para estimação da atenuação na propagação do sinal, o modelo de Shadowing faz uma caracterização do ambiente através do expoente de perda do percurso Beta, o qual, segundo Rapaport (2002), pode ser um valor arbitrário entre 3 e 6 quando o ambiente é obstruído. A classificação dada pelo citado autor é genérica e não permite contabilizar os elementos que se

encontram dentro do ambiente. Pode-se, nesse sentido, afirmar que uma contribuição da modelagem com a base de regras nebulosa proposta nesse trabalho é justamente a de considerar tais elementos.

O estudo realizado demonstrou que, através da aplicação da Lógica Nebulosa para o estudo de atenuação do sinal nos ambientes *indoor*, torna-se possível a obtenção de valores bastante aproximados aos medidos empiricamente. Nesse sentido, a adoção de Lógica Nebulosa permite o tratamento de dados ambíguos, imprecisos, com presença de um certo grau de incerteza. Também permite a solução de problemas onde a modelagem matemática seria complexa. O método de (Max,Min), escolhido pela simplicidade da sua aplicação, foi capaz de fornecer resultados satisfatórios, suficientemente aproximados dos experimentais, verificados para dois métodos de defuzzyficação: os métodos de Centro de Gravidade e Médios Máximos.

Além disso, os dados coletados ao longo do trabalho foram comparados com os obtidos através de um sistema computacional de Lógica Nebulosa, implementado na plataforma Java, fornecendo resultados aproximados aos cálculos manuais e aos medidos.

Finalmente, pode-se afirmar que a Lógica Nebulosa demonstrou ser uma possível ferramenta para o tratamento dos fatores de atenuação do sinal, simplificando o processo de caracterização da obstrução do ambiente e permitindo obter resultados aproximados aos das medições reais. Além disso, pôde-se também observar que a base de regras proporcionou um certo grau de inteligência computacional à solução para o problema ao extrapolar o conhecimento contido originalmente na sua geração para a previsão de situações onde ocorreu ganho (e não perda) na intensidade do sinal.

Como trabalhos futuros nesse tema de pesquisa, pode-se salientar a extensão da aplicação para outras situações empíricas, verificando a capacidade de generalização da base de regras para outras condições de topologia do meio de propagação.

## 7. REFERÊNCIAS

ANDERSEN, J. B.; RAPPAPORT, T. S.; YOSHIDA, S. **Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels**. IEEE Communications Magazine . Pág. 42-49, 1995.

ANDRADE, M. T. **Notas de Aula de Computação Fuzzy**. Pós-Graduação na área de Sistemas Digitais, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

BARROS, L. *et al.* **Teoria dos Conjuntos Fuzzy com Aplicações**. São Carlos: Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2005. v. 17. 66 p., 2005.

BAUMKARTEN, R.; ZANDEN, D.; ROCHA, R. **Notas da aula da disciplina Sistemas de Apoio à Decisão**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2006

BOSQUETTI, D.; MAREGA, E. **Curso de Mecânica Ondulatória via Internet**. Capturado em 05-12-2009 em <http://www.cdcc.usp.br/ondulatoria/apresent.html>

BRANQUINHO, O. **Notas de Aula do Curso de Modelos de Propagação**. Campinas, 2009.

BRANQUINHO, O.; REGGIANI, N.; ANDREOLLO, A. **Modelo de Propagação Shadowing Modificado para Ambiente Interno para Redes WLAN em 2,4GHz**. XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Campinas, SP, 2005

**BREEZENET PRO.11 Series Reference Guide**. Cat. No. 213026, 1998. Capturado em 10-11-2009 em: [www.dateline.ru/download/manual/man-breezenet-pro-ref.pdf](http://www.dateline.ru/download/manual/man-breezenet-pro-ref.pdf)

CAMARGOS, F. **Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada.** Departamento de Informática e Estatística - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2002.

COST 231. **Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems.** Final Report – European Commission, 1999

COX, E. **The Fuzzy Systems Handbook.** AP Professional, Chappaqua, New York, 1999.

CRUZ, A. **Apresentação sobre Lógica Nebulosa.** Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal de Rio de Janeiro, 2001

DA COSTA, M. E. **Técnicas de Traçado de Raios em Três Dimensões para Cálculo de Campos em Ambientes Interiores e Exteriores.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

DAMOSSO, E., COST Action 231. **Digital mobile radio towards future generation systems,** Final report, Luxemburgo, 1999.

DA SILVA, MARCO. **Portal do Aluno Online.** Capturado em 10-11-2009 em <http://www.alunosonline.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz/>

DE SOUZA LUZ, K. **Avaliação da Instabilidade da Modulação em Diferentes Ambientes.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação Stricto-Sensu – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.

FERNANDES, M. C.; SANTOS, R. H. **Lógica Nebulosa X Lógica Paraconsistente**. Universidade Federal de São Carlos, 2002. Disponível em: [http://www.dc.ufscar.br/~fernandes/Nebuloza\\_X\\_Paraconcistente.ppt](http://www.dc.ufscar.br/~fernandes/Nebuloza_X_Paraconcistente.ppt).

FIGUEIREDO, A; GIMENES, R. **Lógica Nebulosa ou Lógica Fuzzy**

GUIMARÃES, R. *et al.* **Lógica Fuzzy ou Lógica Nebulosa**. Projeto Robótica, Colégio Nobel. Salvador, BA, 2002. Disponível em: <http://www.colegionobel.com.br/robotica/nebula.html>.

GROSSKOPF, R. **ITU Field-strenght prediction methods for terrestrial point-to-area services**. WFMN07\_II\_B3, pp. 63-67. Chemnitz, Alemanha. Capturado em 10-11-2009 em <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2007/0210/>

HALFORD, K.; WEBSTER, M. **Multipath Measurement in Wireless LANs**. 1-888-INTERSIL, 2001

HASHEMI, H. **The Indoor Propagation Channel**. IEEE. vol 81, nº. 7, Julio 1993.

HOLMA H.; TOSKALA A., **WCDMA for UMTS: radio access for third generation mobile communications**, John Wiley, 2000

ITU-R P.1238, "Propagation Data and Prediction Models for the Planning of Indoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 900 MHz to 100 GHz".

KOHAGURA, T. **Lógica Fuzzy e suas aplicações**. 2007. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Londrina; Londrina, 2007.

KEENAN, J.; MOTLEY, A. **Radio coverage in Buildings**. British Telecom Technology Journal, vol.8, no.1, 1990.

LOPES, R. **Modelos e Planejamento para Redes Locais de Acesso Via Rádio**. ISEL. Lisboa, Portugal.2004

LIMA, R. **Abordagem Fuzzy na Escolha de Projetos Populares**. Departamento de Biologia - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2007.

LIRA, F. **Fundamentos da Tecnología WIMAX**. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações – CPqD, 2008

MATEUS, R.; LOUREIRO, A. **Introdução a Computação Móvel**. 11<sup>a</sup> Escola de Computação. Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal de Rio de Janeiro, 1998.

MEDEIROS, J.C.O. **Princípios de telecomunicações: teoria e prática**. São Paulo: Érica, 2004

MENEZES, L. **Perda de penetração em paredes largas e divisórias**. Revista Digital Online, vol 3. Agosto, 2004. Disponível em: [www.revdigonline.com](http://www.revdigonline.com)

MIKAS, F.; ZVÁNOVEC, S.; PECHAC, P. **Measurement and prediction of signal propagation for WLAN systems**. Department of Electromagnetic Field, Czechalch Techni University, 2003.

MONTEIRO, J. *et al.* **Utilização das Redes Neurais Artificiais na Adaptação de Modelos de Propagação em Ambiente Fechado**. Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, 2000

NAJNUDEL, M. **Estudo de Propagação em Ambientes Fechados para o Planejamento de WLANs**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)

– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PASSINO, K; YURKOVICH, S. **Fuzzy Control**. Addison Wesley Longman, 1998

RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications-Principles and Practice**. Prentice Hall Inc, 2002

RUDD, R. F. **Indoor Coverage Considerations for High-elevation Angle Systems**. Aegis Systems Limited, 2002

SANCHES, C. A. **Projetando Redes WLAN – Conceitos e Práticas**, 2005.

SARKAR, T. K. *et al.* **A survey of varios propagation models for mobile communication**. IEEE antennas and propagation magazine, vol. 45, nº 3, 2003.

SCHNEIDER, F.; LAMBRECHET, A. **Enhancement of the Okamura Hata propagation model using detailed morphological and building data**. IEEE publication,1996

SILVEIRA, E; DANTA, M. **Uma Abordagem de Monitoração de Tráfego de Rede utilizando Lógica Difusa**. Departamento de Informática e Estatística - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SKLAR, S. **Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System**. Part I: Characterization, IEEE Communications Magazine, pag 90, July 1997.

SOARES, H. **Sistema Cognitivo De Suporte Ao Operador De Uma Usina Nuclear Baseado Em Módulos Contextuais**. 2009. Tese (Doutorado em

Engenharia Nuclear) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SÓ FÍSICA. Disponível em:

<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/refracao.php>, 2009.

TANENBAUM. A. **Computer Networks – Third Edition**. New Jersey:Prentice-Hall, 1996

TSOUKALAS, L.; UHRIG, R.; **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**. New York, NY, EUA: Wiley Interscience, 1997.

YARKONI N.;BLAUNSTEIN N. **Prediction of propagation characteristics in indoor radio communication environments**. Progress In Electromagnetics Research, PIER 59, 151–174, 2006.

ZADEH, L. Fuzzy sets Information and Control. vol. 8, pp 338-353, 1965.

ZHANG, Y. P.; HWANG, Y. **Measurements of the Characteristics of Indoor Penetration Loss**. IEEE Communications Magazine, 1994

ZUBEN, J. **Modelos e Aplicações de Sistemas Nebulosos**. Faculdade de Engenharia Elétrica – Universidade Estadual de Campinas. 2002.

**ANEXO I -  
BASE DE REGRAS NEBULOSAS**

**BASE DE REGRAS:**

- (1) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO ALTA)
- (2) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (3) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (4) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (5) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (6) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (7) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (8) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (9) SE (PA é Média) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (10) SE (PA é Baixo) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)
- (11) SE (PA é Médio) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Pequena) E (TAM é Grande) E (AM é Alta) ENTÃO (OBS é NULA)
- (12) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (13) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (14) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (15) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (16) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)

- (17) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (18) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (19) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (20) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (21) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (22) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (23) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (24) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (25) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (26) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (27) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (28) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (29) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é NULA)
- (30) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (31) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (32) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)
- (33) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é NULA)

- (34) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (35) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (36) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (37) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (38) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (39) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (40) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (41) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (42) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (43) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (44) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (45) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (46) SE (PA é Alta) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (47) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (48) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Baixo) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (49) SE (PA é Alta) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (50) SE (PA é Alta) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)

- (51) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (52) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (53) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (54) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (55) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (56) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (57) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (58) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (59) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (60) SE (PA é Baixa) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (61) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (62) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (63) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (64) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (65) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Alta) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (66) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (67) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)

- (68) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (69) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (70) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Baixa) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (71) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (72) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Baixa) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (73) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (74) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (75) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (76) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (77) SE (PA é Médio) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (78) SE (PA é Baixo) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (79) SE (PA é Média) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (80) SE (PA é Baixa) E (DIV é Pouca) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (81) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é NULA)
- (82) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (83) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (84) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é BAIXA)

- (85) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Média) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (86) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (87) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Grande) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (88) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (89) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (90) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (91) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MUITO BAIXA)
- (92) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é ALTA)
- (93) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (94) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (95) SE (PA é Média) E (DIV é Poucas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (96) SE (PA é Baixa) E (DIV é Poucas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é BAIXA)
- (97) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (98) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (99) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Médio) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (100) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)
- (101) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Média) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)

(102) SE (PA é Baixa) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)

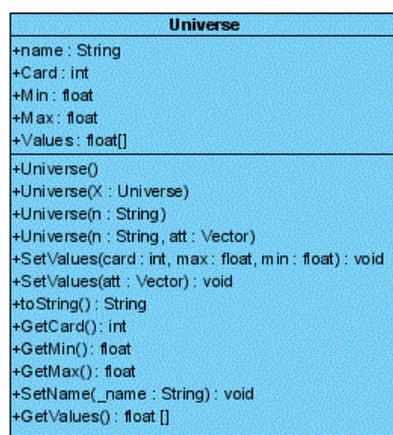
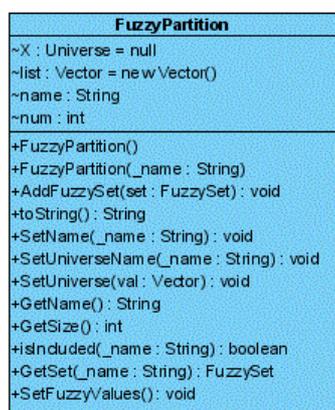
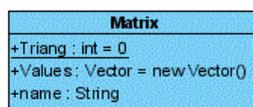
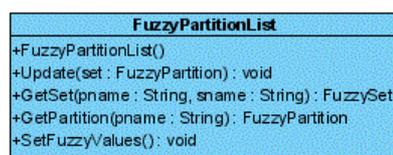
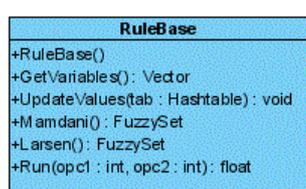
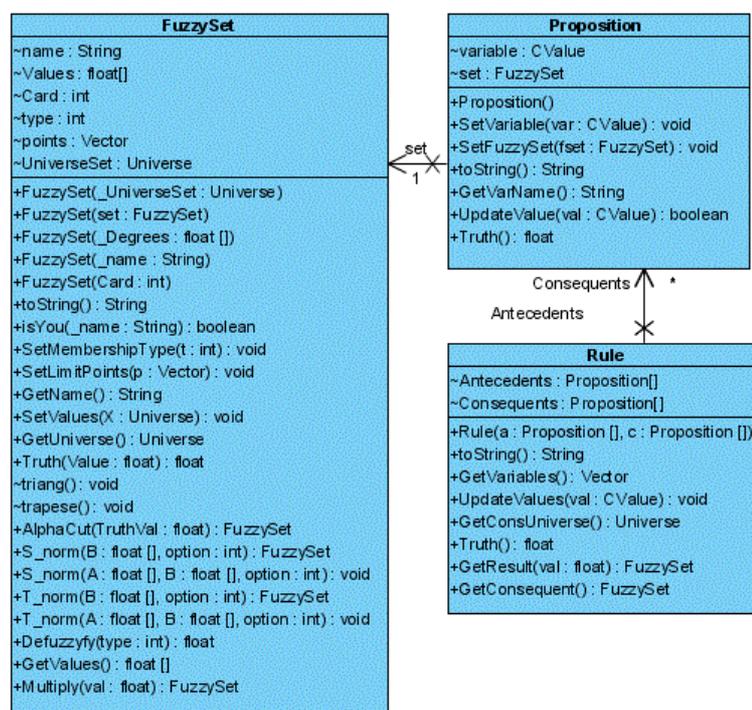
(103) SE (PA é Média) E (DIV é Muitas) E (JAN é Alta) E (DIS é Média) E (TAM é Pequeno) E (AM é Alto) ENTÃO (OBS é MEDIA)

**ANEXO II –**

**MODELAGEM E CODIFICAÇÃO**  
**DO SISTEMA COMPUTACIONAL**

## A2.1. MODELO UML DO SISTEMA FUZZY

A seguir, está apresentado o modelo UML, referente aos diagramas de classe, do sistema nebuloso implementado neste trabalho:



## A2.2. CODIFICAÇÃO DO SISTEMA FUZZY

A seguir, estão apresentados os trechos de código que explicitam a implementação realizada, na linguagem Java, referente ao sistema nebuloso implementado neste trabalho.

```

package com.waldura.tw;
import java.util.ArrayList;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.FuzzySet;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.MembershipFunction;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.Operation;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.Proposition;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.Rule;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.RuleBase;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.TrapezeMembershipFunction;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.TriangleMembershipFunction;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.Universe;
import org.p2c.softComputing.fuzzy.basics.Variable;

public class fuzzy {
    RuleBase baseRegras1;
    Variable vWallMaterialA, vWindowMaterialA, vDistancia, vDivisoria, vTam, vAMetal, vObstrucao;

    public fuzzy() {
        criaSistemaNotaPeso();
    }

    private void criaSistemaNotaPeso() {
        Universe uWallMaterialA = new Universe("Parede de Material A", 20, -1, 14);
        Universe uWindowMaterialA = new Universe("Janela de Material A", 30, -1, 23);
        Universe uDistancia = new Universe("Distancia", 90, -1, 71);
        Universe uDivisoria = new Universe("Divisorias entre ambientes", 15, -2, 7);
        Universe uTamanhoSala = new Universe("Tamanho da Sala", 45, 5, 25);
        Universe uArmarioMetalico = new Universe("Armario Metalico", 20, -1, 9);
        Universe uObstrucao = new Universe("Obstrucao", 20, -3, 10);

        // variavel Parede
        MembershipFunction fWallMaterialABaixa = new TriangleMembershipFunction(
            uWallMaterialA, 0, 1, 4);
        MembershipFunction fWallMaterialAMedio = new TriangleMembershipFunction(
            uWallMaterialA, 2, 6, 8);

        MembershipFunction fWallMaterialAAlto = new TriangleMembershipFunction(
            uWallMaterialA, 7, 9, 11);

        // variavel Janela
        MembershipFunction fWindowMaterialABaixa = new TriangleMembershipFunction(
            uWindowMaterialA, 0, 4, 9);

        MembershipFunction fWindowMaterialAMedia = new TriangleMembershipFunction(
            uWindowMaterialA, 8, 11, 16);

        MembershipFunction fWindowMaterialAAlta = new TriangleMembershipFunction(
            uWindowMaterialA, 14, 19, 22);

        // variavel Distancia
        MembershipFunction fDistanciaBaixa = new TriangleMembershipFunction(
            uDistancia, 5, 20, 39);

        MembershipFunction fDistanciaMedia = new TriangleMembershipFunction(
            uDistancia, 35, 48, 52);

        MembershipFunction fDistanciaAlto = new TriangleMembershipFunction(
            uDistancia, 50, 59, 70);

        // variavel Divisorias

```

```

MembershipFunction fDivisoriasPoucas = new TriangleMembershipFunction(
    uDivisorias, -1, 0, 2);

MembershipFunction fDivisoriasMuitas = new TriangleMembershipFunction(
    uDivisorias, 1, 3, 5);

// variavel Tamanho Sala
MembershipFunction fTamanhoPequeno = new TriangleMembershipFunction(
    uTamanhoSala, 6, 10, 14);

MembershipFunction fTamanhoGrande = new TriangleMembershipFunction(
    uTamanhoSala, 12, 15, 20);

// variavel Armario Metalico
MembershipFunction fArmarioMetalicoPoucos = new TriangleMembershipFunction(
    uArmarioMetalico, 0, 1, 2);

MembershipFunction fArmarioMetalicoMedio = new TriangleMembershipFunction(
    uArmarioMetalico, 1, 3, 5);

MembershipFunction fArmarioMetalicoMuito = new TriangleMembershipFunction(
    uArmarioMetalico, 4, 6, 8);

// variavel obstrucao
MembershipFunction fObstrucaoNula = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, -2.5, -1.8, 0.01);

MembershipFunction fObstrucaoMuitoBaixa = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, 0, 1.7, 2.4);

MembershipFunction fObstrucaoBaixa = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, 2, 3, 3.5);

MembershipFunction fObstrucaoMedia = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, 3.2, 4, 4.7);

MembershipFunction fObstrucaoAlta = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, 4.3, 5.3, 6.3);

MembershipFunction fObstrucaoMuitoAlta = new TriangleMembershipFunction(
    uObstrucao, 6.2, 8, 10);

// criacao de fuzzy sets

// Wall Material A
FuzzySet wmaBaixa = new FuzzySet("WMA Baixa", fWallMaterialABaixa);
FuzzySet wmaMedia = new FuzzySet("WMA Media", fWallMaterialAMedio);
FuzzySet wmaAlta = new FuzzySet("WMA Alta", fWallMaterialAAlto);

// Janela Material A
FuzzySet jmaBaixa = new FuzzySet("JMA Baixa", fWindowMaterialABaixa);
FuzzySet jmaMedia = new FuzzySet("JMA Media", fWindowMaterialAMedio);
FuzzySet jmaAlta = new FuzzySet("JMA Alta", fWindowMaterialAAlto);

// Distancia
FuzzySet dBaixa = new FuzzySet("DIS Baixa", fDistanciaBaixa);
FuzzySet dMedia = new FuzzySet("DIS Media", fDistanciaMedia);
FuzzySet dAlta = new FuzzySet("DIS Alta", fDistanciaAlto);

// Divisorias
FuzzySet divPoucas = new FuzzySet("DIV Baixa", fDivisoriasPoucas);
FuzzySet divMuitas = new FuzzySet("DIV Muitas", fDivisoriasMuitas);

// Tamanho Sala
FuzzySet tamPeq = new FuzzySet("TAM Pequeno", fTamanhoPequeno);
FuzzySet tamGrande = new FuzzySet("TAM Grande", fTamanhoGrande);

// Armario Metalico
FuzzySet amPoucos = new FuzzySet("AM Baixa", fArmarioMetalicoPoucos);
FuzzySet amMedio = new FuzzySet("AM Muitas", fArmarioMetalicoMedio);
FuzzySet amMuitos = new FuzzySet("AM Muitas", fArmarioMetalicoMuito);

```

```

// Obstrucao
FuzzySet oNula = new FuzzySet("Obstrucao Nula", fObstrucaoNula);
FuzzySet oMuitoBaixa = new FuzzySet("Obstrucao Muito Baixa", fObstrucaoMuitoBaixa);
FuzzySet oBaixa = new FuzzySet("Obstrucao Baixa", fObstrucaoBaixa);
FuzzySet oMedia = new FuzzySet("Obstrucao Media", fObstrucaoMedia);
FuzzySet oAlta = new FuzzySet("Obstrucao Alta", fObstrucaoAlta);
FuzzySet oMuitoAlta = new FuzzySet("Obstrucao Muito Alta",
    fObstrucaoMuitoAlta);

// criacao de proposicoes

vWallMaterialA = new Variable(0, "Parede de Material A");
vWindowMaterialA = new Variable(0, "Janela de Material A");
vDistancia = new Variable(0, "Distancia");
vDivisoria = new Variable(0, "Divisorias");
vTam = new Variable(0, "Tamanho");
vAMetal = new Variable(0, "Armarios Metalicos");
vObstrucao = new Variable(0, "Obstrucao");

// Wall Material
Proposition pWallMaterialABaixa = new Proposition(vWallMaterialA,
    wmaBaixa);
Proposition pWallMaterialAMedia = new Proposition(vWallMaterialA,
    wmaMedia);
Proposition pWallMaterialAAlta = new Proposition(vWallMaterialA,
    wmaAlta);

//Window Material

Proposition pWindowMaterialABaixa = new Proposition(vWindowMaterialA,
    jmaBaixa);
Proposition pWindowMaterialAMedia = new Proposition(vWindowMaterialA,
    jmaMedia);
Proposition pWindowMaterialAAlta = new Proposition(vWindowMaterialA,
    jmaAlta);

// Distancia

Proposition pDistanciaBaixa = new Proposition(
    vDistancia, dBaixa);
Proposition pDistanciaMedia = new Proposition(
    vDistancia, dMedia);
Proposition pDistanciaAlta = new Proposition(
    vDistancia, dAlta);

// Divisorias

Proposition pDivisoriasPoucas = new Proposition(
    vDivisoria, divPoucas);
Proposition pDivisoriasMuitas = new Proposition(
    vDivisoria, divMuitas);

// Tamanho

Proposition pTamanhoPequeno = new Proposition(
    vTam, tamPeq);
Proposition pTamanhoGrande = new Proposition(
    vTam, tamGrande);

// Armario Metalico

Proposition pAMetalicoPoucos = new Proposition(
    vAMetal, amPoucos);
Proposition pAMetalicoMedio = new Proposition(
    vAMetal, amMedio);
Proposition pAMetalicoMuitos = new Proposition(
    vAMetal, amMuitos);

// Obstrucao

Proposition pObstrucaoNula = new Proposition(vObstrucao, oNula);
Proposition pObstrucaoMuitoBaixa = new Proposition(vObstrucao, oMuitoBaixa);
Proposition pObstrucaoBaixa = new Proposition(vObstrucao, oBaixa);
Proposition pObstrucaoMedia = new Proposition(vObstrucao, oMedia);
Proposition pObstrucaoAlta = new Proposition(vObstrucao, oAlta);

```

```

Proposition pObstrucaoMuitoAlta = new Proposition(vObstrucao, oMuitoAlta);

// TODO 25/05/2009 Sintonizar as regras abaixo

baseRegras1 = new RuleBase();
Proposition[] lista1 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule1 = new Rule(lista1, pObstrucaoMuitoAlta);
baseRegras1.addRule(rule1);

Proposition[] lista2 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule2 = new Rule(lista2, pObstrucaoMuitoAlta);
baseRegras1.addRule(rule2);

Proposition[] lista3 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule3 = new Rule(lista3, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule3);

Proposition[] lista4 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule4 = new Rule(lista4, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule4);

Proposition[] lista5 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule5 = new Rule(lista5, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule5);

Proposition[] lista6 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule6 = new Rule(lista6, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule6);

Proposition[] lista7 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule7 = new Rule(lista7, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule7);

Proposition[] lista8 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule8 = new Rule(lista8, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule8);

Proposition[] lista9 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule9 = new Rule(lista9, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule9);

Proposition[] lista10 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule10 = new Rule(lista10, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule10);

Proposition[] lista11 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule11 = new Rule(lista11, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule11);

Proposition[] lista12 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule12 = new Rule(lista12, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule12);

Proposition[] lista13 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule13 = new Rule(lista13, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule13);

Proposition[] lista14 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule14 = new Rule(lista14, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule14);

```

```

Proposition[] lista15 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule15 = new Rule(lista15, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule15);

Proposition[] lista16 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule16 = new Rule(lista16, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule16);

Proposition[] lista17 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule17 = new Rule(lista17, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule17);

Proposition[] lista18 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule18 = new Rule(lista18, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule18);

Proposition[] lista19 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule19 = new Rule(lista19, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule19);

Proposition[] lista20 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule20 = new Rule(lista20, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule20);

Proposition[] lista21 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule21 = new Rule(lista21, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule21);

Proposition[] lista22 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule22 = new Rule(lista22, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule22);

Proposition[] lista23 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule23 = new Rule(lista23, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule23);

Proposition[] lista24 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule24 = new Rule(lista24, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule24);

Proposition[] lista25 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule25 = new Rule(lista25, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule25);

Proposition[] lista26 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule26 = new Rule(lista26, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule26);

Proposition[] lista27 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule27 = new Rule(lista27, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule27);

Proposition[] lista28 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule28 = new Rule(lista28, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule28);

Proposition[] lista29 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule29 = new Rule(lista29, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule29);

```

```

        Proposition[] lista30 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
        Rule rule30 = new Rule(lista30, pObstrucaoNula);
        baseRegras1.addRule(rule30);

        Proposition[] lista31 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule31 = new Rule(lista31, pObstrucaoNula);
        baseRegras1.addRule(rule31);

        Proposition[] lista32 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAMedia,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule32 = new Rule(lista32, pObstrucaoNula);
        baseRegras1.addRule(rule32);

        Proposition[] lista33 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule33 = new Rule(lista33, pObstrucaoNula);
        baseRegras1.addRule(rule33);

        Proposition[] lista34 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule34 = new Rule(lista34, pObstrucaoNula);
        baseRegras1.addRule(rule34);

//regra4
        Proposition[] lista35 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule35 = new Rule(lista35, pObstrucaoAlta);
        baseRegras1.addRule(rule35);

        Proposition[] lista36 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta,
pDivisoriasMuitas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule36 = new Rule(lista36, pObstrucaoAlta);
        baseRegras1.addRule(rule36);

        Proposition[] lista37 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaAlta, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule37 = new Rule(lista37, pObstrucaoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule37);

        Proposition[] lista38 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaAlta, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule38 = new Rule(lista38, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule38);

        Proposition[] lista39 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaAlta, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule39 = new Rule(lista39, pObstrucaoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule39);

        Proposition[] lista40 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa,
pDivisoriasPoucas, pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
        Rule rule40 = new Rule(lista40, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule40);

        Proposition[] lista41 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
        Rule rule41 = new Rule(lista41, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule41);

        Proposition[] lista42 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
        Rule rule42 = new Rule(lista42, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule42);

        Proposition[] lista43 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
        Rule rule43 = new Rule(lista43, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule43);

        Proposition[] lista44 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
        Rule rule44 = new Rule(lista44, pObstrucaoMuitoBaixa);
        baseRegras1.addRule(rule44);

```

```

Proposition[] lista45 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
Rule rule45 = new Rule(lista45, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule45);

Proposition[] lista46 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaMedia, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule46 = new Rule(lista46, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule46);

Proposition[] lista47 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
Rule rule47 = new Rule(lista47, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule47);

Proposition[] lista48 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoPoucos, };
Rule rule48 = new Rule(lista48, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule48);

Proposition[] lista49 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule49 = new Rule(lista49, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule49);

Proposition[] lista50 = { pWallMaterialAAlta, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule50 = new Rule(lista50, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule50);

Proposition[] lista51 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule51 = new Rule(lista51, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule51);

Proposition[] lista52 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule52 = new Rule(lista52, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule52);

Proposition[] lista53 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule53 = new Rule(lista53, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule53);

Proposition[] lista54 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule54 = new Rule(lista54, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule54);

Proposition[] lista55 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule55 = new Rule(lista55, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule55);

Proposition[] lista56 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule56 = new Rule(lista56, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule56);

Proposition[] lista57 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule57 = new Rule(lista57, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule57);

Proposition[] lista58 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule58 = new Rule(lista58, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule58);

Proposition[] lista59 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule59 = new Rule(lista59, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule59);

```

```

Proposition[] lista60 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule60 = new Rule(lista60, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule60);

```

```

Proposition[] lista61 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule61 = new Rule(lista61, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule61);

```

```

Proposition[] lista62 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule62 = new Rule(lista62, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule62);

```

```

Proposition[] lista63 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule63 = new Rule(lista63, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule63);

```

```

Proposition[] lista64 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule64 = new Rule(lista64, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule64);

```

```

Proposition[] lista65 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaAlta, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule65 = new Rule(lista65, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule65);

```

```

Proposition[] lista66 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule66 = new Rule(lista66, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule66);

```

```

Proposition[] lista67 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule67 = new Rule(lista67, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule67);

```

```

Proposition[] lista68 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule68 = new Rule(lista68, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule68);

```

```

Proposition[] lista69 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule69 = new Rule(lista69, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule69);

```

```

Proposition[] lista70 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaBaixa, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule70 = new Rule(lista70, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule70);

```

```

Proposition[] lista71 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule71 = new Rule(lista71, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule71);

```

```

Proposition[] lista72 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialABaixa, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule72 = new Rule(lista72, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule72);

```

```

Proposition[] lista73 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule73 = new Rule(lista73, pObstrucaoAlta);
baseRegras1.addRule(rule73);

```

```

Proposition[] lista74 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule74 = new Rule(lista74, pObstrucaoAlta);
baseRegras1.addRule(rule74);

Proposition[] lista75 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule75 = new Rule(lista75, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule75);

Proposition[] lista76 = { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule76 = new Rule(lista76, pObstrucaoAlta);
baseRegras1.addRule(rule76);

Proposition[] lista77 = { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule77 = new Rule(lista77, pObstrucaoAlta);
baseRegras1.addRule(rule77);

Proposition[] lista78= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule78 = new Rule(lista78, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule78);

Proposition[] lista79= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule79 = new Rule(lista79, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule79);

Proposition[] lista80= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule80 = new Rule(lista80, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule80);

Proposition[] lista81= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule81 = new Rule(lista81, pObstrucaoNula);
baseRegras1.addRule(rule81);

Proposition[] lista82= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule82 = new Rule(lista82, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule82);

Proposition[] lista83= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule83 = new Rule(lista83, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule83);

Proposition[] lista84= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule84 = new Rule(lista84, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule84);

Proposition[] lista85= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMedio, };
Rule rule85 = new Rule(lista85, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule85);

Proposition[] lista86= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule86 = new Rule(lista86, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule86);

Proposition[] lista87= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoGrande, pAMetalicoMuitos, };
Rule rule87 = new Rule(lista87, pObstrucaoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule87);

Proposition[] lista88= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
Rule rule88 = new Rule(lista88, pObstrucaoMuitoBaixa);
baseRegras1.addRule(rule88);

```

```

Proposition[] lista89= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule89 = new Rule(lista89, pObstrucaoMuitoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule89);

Proposition[] lista90= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule90 = new Rule(lista90, pObstrucaoMuitoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule90);

Proposition[] lista91= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule91 = new Rule(lista91, pObstrucaoMuitoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule91);

Proposition[] lista92= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule92 = new Rule(lista92, pObstrucaoAlta);
    baseRegras1.addRule(rule92);

Proposition[] lista93= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule93 = new Rule(lista93, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule93);

Proposition[] lista94= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule94 = new Rule(lista94, pObstrucaoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule94);

Proposition[] lista95= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule95 = new Rule(lista95, pObstrucaoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule95);

Proposition[] lista96= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasPoucas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule96 = new Rule(lista96, pObstrucaoBaixa);
    baseRegras1.addRule(rule96);

Proposition[] lista97= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule97 = new Rule(lista97, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule97);

Proposition[] lista98= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule98 = new Rule(lista98, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule98);

Proposition[] lista99= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMedio, };
    Rule rule99 = new Rule(lista99, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule99);

Proposition[] lista100= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule100 = new Rule(lista100, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule100);

Proposition[] lista101= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAMedia, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule101 = new Rule(lista101, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule101);

Proposition[] lista102= { pWallMaterialABaixa, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };
    Rule rule102 = new Rule(lista102, pObstrucaoMedia);
    baseRegras1.addRule(rule102);

Proposition[] lista103= { pWallMaterialAMedia, pDistanciaMedia, pWindowMaterialAAlta, pDivisoriasMuitas,
pTamanhoPequeno, pAMetalicoMuitos, };

```

```

Rule rule103 = new Rule(lista103, pObstrucaoMedia);
baseRegras1.addRule(rule103);

private float avaliaComMetodoFuzzy(double wallmaterial,
    double div, double windowMaterialA, double distancia, double tam, double am) {
    float obstrucao = 0;
    vWallMaterialA.setValue(wallmaterial);
    vDivisoria.setValue(div);
    vWindowMaterialA.setValue(windowMaterialA);
    vDistancia.setValue(distancia);
    vTam.setValue(tam);
    vAMetal.setValue(am);
    try {
        FuzzySet result = baseRegras1.Mamdani();
        obstrucao = (float) result.Defuzzyfy(Operation.DEF_MED_MAX);
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    return obstrucao;
}

public static float calculaAmbiente(float wma, float div, float jma, float dist, float tam, float am)
{
    fuzzy F = new fuzzy();
float obs = F.avaliaComMetodoFuzzy(wma, div, jma, dist, tam, am);

System.out.println(" ambiente " +obs);
return obs;
}

public static void main(String[] args) {
    double wma = 10;
    double div = 4;
    double jma = 19;
    double dist = 67;
    double tam = 13;
    double am = 6;
    fuzzy F = new fuzzy();
    float obs = F.avaliaComMetodoFuzzy(wma, div, jma, dist, tam, am);

    System.out.print(obs);
}
}

```