

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



FLÁVIA DOMINONI WERNER

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ APLICANDO A LÓGICA FUZZY

CURITIBA
2014

FLÁVIA DOMINONI WERNER

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ APLICANDO A LÓGICA FUZZY

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional e Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (EDUBRAS-MAUI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Regina Weinschutz
Coorientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias

CURITIBA
2014

Werner, Flávia Dominoni

Classificação dos resíduos perigosos da Universidade Federal do Paraná aplicando a lógica fuzzy / Flávia Dominoni Werner. – Curitiba, 2014.

145 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, SENAI – PR, Universität Stuttgart.

Orientadora: Regina Weinschutz

Coorientador: Alvaro Luiz Mathias

Bibliografia: p.99-111

1. Resíduos perigosos. 2. Universidade Federal do Paraná. 3. Lógica Fuzzy. I. Weinschutz, Regina. II. Mathias, Alvaro Luiz. III. Título.

CDD 628.5

TERMO DE APROVAÇÃO

FLAVIA DOMINONI WERNER

**“CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ APLICANDO A LÓGICA
FUZZY”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI/PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):


Prof.ª. Dr.ª. Regina Weinschutz
PPGMAUI/UFPR


Prof. Dr. Gustavo Valentim Loch
UFPR/Engenharia de Produção


Prof. Dr. Carlos Alberto Ubirajara Gontarski
PPGMAUI/ UFPR


Prof.ª. Dr.ª. MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE
Coordenadora do PPGMAUI-UFPR

Curitiba, 30 de outubro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Regina Weinschutz e Alvaro Luiz Mathias pela orientação, críticas, sugestões, pelas horas que dedicaram à minha dissertação e pelo reconhecimento.

Ao professor Volmir Wilhelm por toda ajuda e principalmente por acreditar no meu trabalho e pela motivação nos momentos difíceis.

Ao Romulo Leite pela colaboração na realização deste trabalho, companheirismo, apoio e incentivo.

À Regina Célia Zanelatto, da Divisão de Gestão Ambiental – UFPR, por fornecer dados fundamentais para realização deste trabalho e principalmente pelo incentivo e anos de amizade.

À professora Margarete Lass Erbe pelo incentivo em todos os momentos.

Ao meu esposo Breno Neves de Miranda pelo incentivo, compreensão e paciência nesta jornada.

À minha irmã Fabíola Dominoni Werner que colaborou neste trabalho estando ao meu lado em todos os momentos difíceis, me apoiando, incentivando com todo seu amor e cuidado de irmã/mãe.

RESUMO

O fato das instituições de ensino e pesquisa serem formadoras de profissionais desempenha um papel fundamental na sociedade, pois também são formadoras de opinião e consideradas como um modelo a ser seguido. A sociedade acredita que essas instituições estejam fazendo o adequado em relação às questões ambientais e, neste contexto, inclui o gerenciamento de resíduos perigosos. Estes resíduos são considerados diferentes em relação aos gerados em indústrias, por apresentarem pequenas quantidades e grande diversidade em componentes, o que dificulta na padronização do gerenciamento dos mesmos. Devido a essa peculiaridade, se houver descarte inadequado desses resíduos, essas instituições poderão ser responsáveis por impactos diretos ou indiretos à saúde humana e ao meio ambiente. A partir da problemática apresentada, a proposta do trabalho foi a de realizar o levantamento qualitativo e quantitativo dos resíduos perigosos gerados na UFPR e classificá-los de acordo com suas propriedades físico-químicas, sua toxicidade, sua ecotoxicidade e a quantidade de resíduo em consideração, com o uso da lógica *fuzzy*, para determinar seu grau de periculosidade em relação aos danos na saúde humana e no meio ambiente. A lógica *fuzzy* foi escolhida por permitir o uso, simultâneo, de variáveis quantitativas e qualitativas e por aproximar a decisão computacional da decisão humana. O modelo de classificação foi estruturado em quatro níveis hierárquicos. As variáveis de entrada foram determinadas de acordo com características que indicam periculosidade e as de saída com grau de periculosidade. O método de inferência *fuzzy* utilizado foi o Mamdani e o de defuzzificação foi o centro-da-área. Dessa forma, foi possível obter os resultados de acordo com o objetivo proposto, o que classificou os resíduos indicando o seu grau de perigo à saúde humana e ao meio ambiente a uma determinada quantidade, que é o caso do chumbo que apresenta uma quantidade muito baixa, mas foi classificado como “Perigoso” devido às suas variáveis de entrada indicar periculosidade. Outro exemplo é o dicromato de sódio, que é perigoso e por apresentar uma quantidade extremamente alta foi classificado como “Extremamente Perigoso”. Com isso, a UFPR poderá utilizar essa classificação como uma ferramenta de decisão para o gerenciamento de resíduos perigosos gerados por ela, de acordo com sua realidade, e para a elaboração de um modelo de manejo de produtos químicos e de seus respectivos resíduos, que possibilitará a redução de desperdícios, a minimização da geração de resíduos perigosos para a disposição final e a substituição de produtos químicos adquiridos em consideração a sua periculosidade. Portanto, a UFPR utilizará estes produtos de uma forma mais sustentável e, conseqüentemente, mais econômica.

Palavras-chaves: Resíduos perigosos. UFPR. Classificação. Lógica *fuzzy*. Grau de Periculosidade.

ABSTRACT

Not only educational institutions and research professionals have a key role in society, but they are also opinion makers and considered as role models. The society believes that these institutions are doing the right thing when it comes to environmental issues and, within this context, this would include the management of hazardous waste. These wastes are considered different from those generated in manufacturing plants, as they are made of small quantities but of a wide variety of components, making it difficult to standardize their management. Due to this peculiarity, if any waste is improperly disposed, these institutions may be held responsible for direct or indirect impacts to human health and the environment. In light of the issue raised above, the purpose of this study was to conduct a qualitative and quantitative survey of hazardous waste generated at UFPR, the State of Paraná Federal University, and classify them according to their physical and chemical properties, toxicity, ecotoxicity and to the amount of residue considered, by using fuzzy logic to determine the degree of hazard posed by them to the human health and the environment. Fuzzy logic was chosen due to its ability to use quantitative and qualitative variables at the same time and to make a computational decision close to a human decision. The classification model was divided into four hierarchical levels. The input variables were determined according to characteristics indicating hazard and the output ones according to the hazard level. Mandami fuzzy inference method was used and the defuzzification one was centroid of area. Thus, it was possible to obtain the results according to the proposed objective, classifying the waste to indicate the degree of hazard to human health and the environment to a certain amount, which is the case of lead that shows a very low amount but was classified as "Dangerous" according to the input variables. Another example is sodium dichromate, which is dangerous and was rated as "Extremely Dangerous" due to the high amount. Thus, the UFPR will be able to use this classification as a decision making tool for the management of hazardous waste generated, according to the actual production, and for the development of a chemical and waste management model, which will allow for reducing waste, minimizing hazardous waste generation for final disposal and replacing chemical products purchased according to their hazard level. Therefore, UFPR will use these products in a more sustainable and economical way.

Keywords: Hazardous waste. UFPR. Classification. Fuzzy logic. Hazard degree.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- SISTEMA LÓGICO <i>FUZZY</i>	57
FIGURA 2 - ESTRUTURA PARA DETERMINAR O GRAU DE PERICULOSIDADE.....	69
FIGURA 3 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR.....	76
FIGURA 4 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL.....	77
FIGURA 5 - FUNÇÃO Z.....	78
FIGURA 6 - FUNÇÃO S.....	79
FIGURA 7 - PRIMEIRA ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO ELABORADA.....	80
FIGURA 8 - INSERÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA NO SISTEMA <i>FUZZY</i> ..	85
FIGURA 9 - VARIÁVEL DE ENTRADA K_{ow}	85
FIGURA 10 - VARIÁVEL DE ENTRADA BCF.....	86
FIGURA 11 - VARIÁVEL DE SAÍDA PE.....	87
FIGURA 12 - INSERÇÃO DAS REGRAS <i>FUZZY</i> DO CONJUNTO A.....	87
FIGURA 13 - DEFUZZIFICAÇÃO DO CONJUNTO A.....	88
FIGURA 14 - ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA POR MUSEE, ALDRICH E LORENZEN.....	95

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPARAÇÃO DAS NORMAS.....	28
QUADRO 2 - VARIÁVEIS DE ENTRADA DO SISTEMA <i>FUZZY</i>	68
QUADRO 3 - ESTABELECIMENTO DAS PARTIÇÕES, VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA.....	70
QUADRO 4 - ESQUEMA DOS SETE CONJUNTOS DE REGRAS.....	73
QUADRO 5 - CONJUNTOS DO EFQ E DO EMA DA ESTRUTURA 1.....	81
QUADRO 6 – RESULTADOS DA PRIMEIRA ESTRUTURA PARA A CLASSIFICAÇÃO.....	81
QUADRO 7 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS DA UFPR.....	89
QUADRO 8 - VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS PARA A QUANTIDADE.....	91
QUADRO 9 - CLASSIFICAÇÃO SEM A QUANTIDADE.....	92
QUADRO 10 - ESTRUTURA COM PE INFLUENCIANDO ESH.....	94

LISTA DE SIGLAS

ABEMA - Associação Brasileira das Entidades Estaduais de Meio Ambiente

ABNT - Associação brasileira de Normas Técnicas

BCF - Bioconcentration factors

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior

CAS - Chemical Abstracts Service

CFR40 - Code of Federal Regulations – Título 40

CL50 – Concentração Letal 50

CE50 – Concentração Efetiva Média 50

CONASQ - Comissão Nacional de Segurança Química

CO – Corrosividade

DGA – Divisão de Gestão Ambiental

DL50 – Dose Letal 50

ECHA - European Chemicals Agency

ECOT - Ecotoxicidade

EFQ - Efeito Físico-Químico

EINECS - European Inventory of Existing Commercial chemical Substances

ELINCS - European List of Notified Chemical Substances

EPA - Environmental Protection Agency

EMA – Efeito no Meio Ambiente

ESH – Efeito na Saúde Humana

EUA - Estados Unidos da América

FIRQ - Ficha de Identificação de Resíduo Químico

FISQ - Fórum Intergovernamental de Segurança Química

FURB – Universidade de Blumenau

GP – Grau de Periculosidade

IN - Inflamabilidade

IUPAC – International Union of Pure e Applied Chemistry

K_{OW} - Coeficiente de partição *n*-octanol/water

Ln - Logaritmos neperianos

MEC - Ministério da Educação

NLP - No-longer-polymers

ONU – Organização das Nações Unidas

PE – Potencial de Exposição

PF – Ponto de Fusão

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PROGAD – Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional

PRONASQ - Programa Nacional de Segurança Química

PRPPG – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

PV – Pressão de Vapor

RCRA - The Resource Conservation and Recovery Act

RE - Reatividade

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

SOL – Solubilidade em água

TI – Toxicidade em invertebrados

TO – Toxicidade Oral

TOX – Toxicidade

TP – Toxicidade em peixes

UNISINOS - Universidade do Vale do rio dos Sinos

UFPR – Universidade federal do Paraná

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC - Universidade de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 GESTÃO AMBIENTAL: BREVE HISTÓRICO	15
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA	17
2.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS NA UFPR	23
2.4 NORMAS E PARÂMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS.....	25
2.5 ÍNDICES DE PERICULOSIDADE	32
2.6 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	36
2.7 LÓGICA FUZZY NA GESTÃO AMBIENTAL	42
2.7.1 Lógica Booleana.....	43
2.7.2 Lógica <i>Fuzzy</i>	44
2.7.2.1 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	46
2.7.2.2 Variáveis linguísticas	49
2.7.2.3 Definições e operações.....	50
2.7.2.4 Estrutura do Sistema Lógico <i>Fuzzy</i>	56
2.7.2.5 Regras <i>Fuzzy</i>	57
2.7.2.6 Fuzzificação	61
2.7.2.7 Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>	62
2.7.2.8 Defuzzificação	63
3 MATERIAL E MÉTODOS	66
3.1 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERICULOSIDADE.....	66
3.1.1 Definição das variáveis de entrada e saída do sistema <i>fuzzy</i>	67
3.1.2 A lógica <i>fuzzy</i> na determinação da periculosidade.....	68
3.2 VARIÁVEIS <i>FUZZY</i>	70

3.3 DETERMINAÇÃO DAS REGRAS <i>FUZZY</i>	72
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	75
5 CONCLUSÃO	97
REFERÊNCIAS.....	99
ANEXO	112
APÊNDICES	114

1 INTRODUÇÃO

As universidades, bem como outras instituições de ensino e pesquisa, são consideradas como base de conhecimento a ser seguida pela sociedade, justamente por conter, em seu quadro de funcionários, especialistas em todas as áreas profissionais, que têm como função a formação de novos especialistas, em suas respectivas áreas. A sociedade acredita que estes futuros profissionais, além das noções obtidas em seus cursos, recebam em sua formação uma consciência ambiental com o intuito de evitar danos ao meio ambiente, decorrentes de suas ações profissionais. Seguindo esta linha de pensamento, a sociedade espera que estas instituições estejam fazendo o adequado em relação às questões ambientais, incluindo um programa de gerenciamento adequado de resíduos perigosos e, com isso, as consideram como modelo a ser seguido.

A NBR 10004/2004, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), define a periculosidade de um resíduo como:

Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando a mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. (ABNT, 2004, p. 2)

A necessidade de implantação de um programa de gerenciamento de resíduos perigosos em universidades e instituições de ensino e pesquisa é um assunto bastante discutido há anos, devido ao fato dos resíduos perigosos gerados nestas instituições serem peculiares por apresentarem grande variedade em componentes e em pequenas quantidades, o que dificulta a implantação de um gerenciamento padronizado (GERBASE *et al.*, 2005).

Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), é a Divisão de Gestão Ambiental (DGA) que gerencia todos os resíduos da Instituição, tanto os comuns quanto os perigosos, mas no caso desse último, o gerenciamento ocorre na forma de orientação para que os geradores armazenem de forma adequada seus

resíduos, com o objetivo de assegurar a coleta e o transporte dos mesmos. Este armazenamento deve ser realizado em bombonas padronizadas para resíduos sólidos e para líquidos, que são fornecidas pela DGA, mas antes os resíduos devem ser inertizados, ou seja, tratados para minimizar os efeitos indesejáveis a saúde e ao meio ambiente. A coleta, transporte, tratamento e destinação final ocorrem por empresa terceirizada pela UFPR. A DGA realiza esse gerenciamento, mas é importante que a Instituição tenha um órgão superior para que essa ação seja mais efetiva com a adoção de uma política institucional de gerenciamento de resíduos perigosos na UFPR.

Outra ação importante é que as pró-reitorias de Graduação e Educação Profissional (PROGAD) e de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), da UFPR, determinem como critérios a priorização de projetos que abrangem a escolha do produto químico necessário e ideal para a realização dos mesmos, bem como a prevenção dos resíduos que serão gerados e a proposta do tratamento e destinação final por parte do gerador responsável pelo projeto e também não esquecendo as possibilidades de projetos sustentáveis. É fundamental na hora de estruturar um projeto levar em conta a periculosidade do produto químico a ser utilizado, se este pode ser substituído por outro menos perigoso, a quantidade a ser utilizada, para que na aquisição não haja o excesso da compra do mesmo, pois se não for totalmente utilizado dentro do prazo de validade poderá se tornar um possível passivo ambiental para a Universidade.

Caso não haja um gerenciamento de resíduos perigosos eficiente em instituições de ensino e se alguma substância, considerada perigosa, for lançada em compartimentos ambientais, tais como: solo, atmosfera e corpos hídricos, poderão causar danos, diretos ou indiretos, ao meio ambiente e à saúde humana, às vezes até irreversíveis (VERHAAR; LEEUWEN; HERMENS, 1992, ALSHUWAIKHAT; ABUBAKAR, 2008, BURKHARD, 2008). Por exemplo, se uma substância tóxica for lançada em um rio poderá causar mortandade de organismos aquáticos. Também pode ocorrer a acumulação de determinados compostos químicos (Ex: metais pesados) em organismos aquáticos e serem transferidos, por meio do consumo, para os níveis tróficos superiores da cadeia alimentar, incluindo

o homem (DAVIES; DOBBS, 1984, ADAMS; ROWLAND, 2002, DAUGHTON, 2004).

Devido à problemática apresentada, a proposta do trabalho é realizar o levantamento qualitativo e quantitativo dos resíduos perigosos gerados na UFPR, classificá-los de acordo com suas propriedades físico-químicas, toxicidade, ecotoxicidade e quantidade, com o uso da lógica *fuzzy*, para determinar seu grau de periculosidade em relação aos danos na saúde humana e no meio ambiente.

A lógica *fuzzy* permite imitar o raciocínio humano baseado em informações e/ou situações imprecisas ou aproximadas que antes só eram possíveis de serem solucionadas pelo cérebro humano e não por máquinas. Esta teoria é um exemplo da evolução de computadores e máquinas, bem como da Inteligência Artificial. Ela surgiu para solução de problemas complexos e cada vez mais vem demonstrando que é capaz de solucionar problemas das mais diversas áreas, como por exemplo: medicina, mercado financeiro, física, geologia, indústrias automobilísticas, gestão ambiental, entre outras (KLIR; YUAN, 1995, ORTEGA, 2001).

Esta lógica tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições das informações do que os modelos matemáticos baseados na teoria de probabilidades, pois permite opções abstratas como, “um pouco mais”, “talvez sim”, “quase”, ou seja, resulta nas possibilidades e não apenas binárias como, “sim” ou “não”, “verdadeiro” ou “falso”, como na probabilidade, permitindo aproximar a decisão computacional da decisão humana. Outro aspecto positivo é permitir trabalhar com dados quantitativos e qualitativos simultaneamente (ORTEGA, 2001, LAZZAROTTO, 2005).

Neste trabalho, a lógica *fuzzy* foi aplicada para classificar os resíduos perigosos da UFPR com uso de um modelo elaborado em quatro níveis hierárquicos. O processamento dos níveis foi realizado com sete conjuntos de regras que possibilitaram o resultado final. Para cada variável de entrada, desses conjuntos, foram criadas variáveis de saída linguísticas e regras de inferência (Se/Então), para serem processadas pelo Sistema Lógico *Fuzzy*.

As variáveis de entrada foram determinadas de acordo com as propriedades físico-químicas que indicam a periculosidade de uma substância

química, sua dispersão e partição nos compartimentos ambientais, a toxicidade, a ecotoxicidade e a quantidade de resíduo.

As variáveis de saída foram determinadas para estimar o grau de periculosidade desses compostos em relação aos danos na saúde humana e no meio ambiente.

Os sete conjuntos foram processados pelo Sistema de Inferência Mamdani, sequencialmente, pois para trabalhar com esse tipo de modelo, em níveis, é necessário que o resultado do primeiro nível processado seja utilizado como entrada para o próximo nível até o último nível.

Na defuzzificação, utilizou-se o método Centro-de-Área, que resulta em um número que indica o grau de pertinência de cada saída, no intervalo [0,1].

1.1 OBJETIVO GERAL

Classificar os resíduos perigosos da UFPR com uso de lógica *fuzzy*, com o intuito de auxiliar no gerenciamento desses resíduos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar os resíduos perigosos da UFPR para o estudo a ser realizado;
- Determinar as variáveis de entrada e de saída para o sistema *fuzzy*;
- Levantar os dados quantitativos e qualitativos;
- Criar um modelo de classificação de resíduos perigosos aplicando a lógica *fuzzy*, e
- Classificar os resíduos perigosos da UFPR com o modelo estruturado pertinente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo foram abordados assuntos referentes ao histórico da gestão ambiental, bem como, o gerenciamento de resíduos perigosos, com destaque em instituições de ensino e pesquisa, as características de compostos químicos que indicam a periculosidade à saúde humana e ao meio ambiente e os parâmetros que as normas seguem para identificar esta periculosidade. Também foram abordadas definições, operações, regras, métodos de inferência e processos do sistema da lógica *fuzzy* e uma breve comparação com a lógica booleana.

2.1 GESTÃO AMBIENTAL: BREVE HISTÓRICO

Segundo a ONU BRASIL (2013), o movimento ambiental iniciou em resposta a industrialização, há séculos atrás. Houve um considerável crescimento da preocupação universal sobre o uso saudável e sustentável do planeta e de seus recursos, até que em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, na Suécia. Este evento foi um marco na história sobre as questões ambientais no mundo, que resultou em uma declaração final, contendo 19 princípios, que representaram um Manifesto Ambiental para o futuro.

Neste mesmo ano, a Assembleia Geral da ONU, criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que motivou diversos países a estabelecer legislações nacionais de proteção ambiental (INSTITUTO ETHOS, 2012). O PNUMA tem como prioridades atuais: os aspectos ambientais das catástrofes e conflitos, a gestão dos ecossistemas, a governança ambiental, as substâncias nocivas, a eficiência dos recursos e as mudanças climáticas (ONU BRASIL, 2013).

Em 1983, foi instituída pela ONU a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida pela médica Gro Harlem Brundtland, mestre em saúde pública e ex-Primeira Ministra da Noruega. Foi então que esta comissão ficou conhecida como Comissão de Brundtland e em 1987, publicou o relatório “Nosso Futuro Comum”, onde surgiu o conceito do desenvolvimento sustentável (ONU BRASIL, 2013). Juntamente com este conceito veio uma visão crítica do modelo de desenvolvimento econômico exercido no mundo.

Com base nas diversas recomendações desta comissão, em 1992, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro (Brasil), a Rio 92, que ficou conhecida como a “Cúpula da Terra” por interceder acordos entre os Chefes de Estado presentes. Foi na Rio 92 que surgiu a Agenda 21 Global, que foi acordada e assinada por 179 países, com o objetivo de realizar ações para atingir o desenvolvimento sustentável no âmbito global (MMA, 2013). Essas ações incluem proteger a atmosfera; combater o desmatamento, a perda de solo e a desertificação; prevenir a poluição da água e do ar; deter a destruição das populações de peixes e promover uma gestão segura dos resíduos tóxicos (ONU BRASIL, 2013). A Agenda 21 Global é um programa de ação baseado num documento de 40 capítulos, onde três correspondem à questão dos resíduos, são eles: Capítulo 19 (“Manejo ecologicamente saudável das substâncias químicas tóxicas,...”), Capítulo 20 (“Manejo ambientalmente saudável dos resíduos perigosos...”) e o Capítulo 21 (“Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e as questões relacionadas com os esgotos”). (MMA, 2013).

Em Estocolmo (Suécia), na Conferência Internacional de Segurança Química de 1994, foi criado o Fórum Intergovernamental de Segurança Química (FISQ), que constitui um mecanismo de cooperação entre governos, instituições intergovernamentais e organismos não governamentais, como o objetivo da promoção da avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente oriundos do uso de substâncias químicas e do incentivo da gestão ambientalmente segura de substâncias químicas. O FISQ identificou como prioridade a realização de um Perfil Nacional sobre a Gestão de Substâncias Químicas por todos os países, pois

possibilitará a priorização de ações e decisões sobre políticas públicas com o intuito de aumentar os níveis de segurança química (CONASQ, 2003).

No Brasil, o panorama institucional do Governo Federal, referente à gestão de substâncias químicas é composto por: Poder Executivo que contém quatorze Ministérios envolvidos e diversos órgãos e agências à eles vinculados; Poder Legislativo com a participação das Comissões da Câmara Federal e do Senado para tratar de projetos de lei e o Poder Judiciário e o Ministério Público que atuam nas questões contenciosas. Destaques das Comissões Interministeriais são: a Comissão Nacional de Segurança Química (CONASQ), que abrange vinte e duas instituições do Governo Federal, a Associação Brasileira das Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA), que fornece informações particulares de cada estado e representantes da indústria e de organizações não governamentais e de universidades. A implantação do Programa Nacional de Segurança Química (PRONASQ) é um dos principais objetivos da CONASQ. Este programa surgiu das necessidades e possibilidades de melhoria da gestão das substâncias químicas do país, assim como das diretrizes estabelecidas pelo FISQ. Dentre as dez linhas de ação, do PRONASQ, está a Segurança Química das Universidades e Instituições de Pesquisa (CONASQ, 2003, MMA, 2014).

2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA

As universidades podem ser consideradas como pequenas cidades, devido ao seu grande tamanho, população e diversas atividades complexas que ocorrem nos *campi*, que têm sérios impactos diretos e indiretos sobre o meio ambiente, com isso, a sustentabilidade tornou-se uma questão de interesse global. Esta questão foi intensificada pela pressão de agências governamentais de proteção ambiental, movimentos pela sustentabilidade, partes interessadas das universidades, bem como outras forças de impulso como organizações não

governamentais e ativismo estudantil (ALSHUWAIKHAT; ABUBAKAR, 2008).

Nos Estados Unidos, em 2000, a Agência de Proteção Ambiental emitiu um alerta explicando que as faculdades e universidades passaram a ser consideradas com os mesmos padrões das indústrias com relação às questões da saúde humana e ambiental (SAVELY; CARSON; DELCLOS, 2001).

Para atingir a sustentabilidade em seus *campi*, é importante que as universidades integrem três estratégias: implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), participação pública e responsabilidade social e promoção da sustentabilidade no ensino e na pesquisa (ALSHUWAIKHAT; ABUBAKAR, 2008). O SGA é implementado por meio de um processo iterativo e contínuo onde as práticas de sustentabilidade ambiental serão continuamente melhoradas e avaliadas por auditorias ambientais regulares, podendo melhorar o desempenho ambiental por adequação de documentação e correção das principais falhas no processo de gestão ambiental (RIDGWAY, 2005).

A poluição ambiental causada pelas universidades pode ser reduzida consideravelmente se implantadas medidas organizacionais e técnicas eficazes para proteção ambiental (VIEBAHN, 2002).

Várias universidades aplicam diversas medidas de proteção, mas está faltando implantar um sistema profissional de gestão ambiental, com uma abordagem sistemática para reduzir o consumo de recursos, tanto na forma de energia quanto de material. As ações administrativas convencionais não são mais suficientes para o setor de ensino superior, é necessária uma gestão ambiental eficiente (VIEBAHN, 2002).

Um exemplo de implantação deste sistema na Alemanha é a Universidade de Osnabrück. Esta determinou como principais aspectos para proteção ambiental as áreas de resíduos, substâncias perigosas e economia de energia para a criação de um modelo de gestão ambiental. A implantação do “Modelo de Gestão Ambiental Osnabrück para universidades” teve início em 1999 e foi baseado na realidade da Universidade de Osnabrück, mas pode ser utilizado por outras universidades sem muitas alterações, pois foi desenvolvido para integrar o conceito do sistema de gestão ambiental para universidades de uma forma global

(VIEBAHN, 2002).

Outro modelo proposto especificamente para universidade é o da Universidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos da América (EUA), chamado de “A Iniciativa de Universidades Sustentáveis”, que trata de uma rede estadual de professores, funcionários e estudantes que tem interesse em integrar e compartilhar considerações ambientais em seus trabalhos. Esta rede é composta por três universidades: Universidade de Clemson, Universidade Médica da Carolina do Sul e a Universidade da Carolina do Sul. Embora, todas essas universidades colaborem e compartilhem informações, cada universidade centra-se nos aspectos da sustentabilidade que melhor se adequam a instituição (SUI, 2014).

De acordo com ALSHUWAIKHAT e ABUBAKAR (2008), ambos da Universidade de Petróleo e Minerais Rei Fahd, na Arábia Saudita, as universidades são sistemas que envolvem complexos científicos numerosos (laboratórios experimentais, práticas agrícolas, etc.), atividades sociais e educacionais (ensino, aprendizagem e pesquisa), fornecimento e uso de energia, transporte e interação, esporte e recreação, etc., também são heterogêneas, algumas muito grandes em tamanho e população. Todas estas características justificam a necessidade de uma abordagem sistemática e integrada para fazer as universidades mais habitáveis e sustentáveis e um dos objetivos do SGA em universidades é promover um ambiente saudável no *campus*, minimizando o impacto negativo das atividades e operações na saúde humana, eliminando as substâncias tóxicas, reduzindo a geração de resíduos, efluentes e emissões para o meio ambiente.

No Brasil, destacam-se a Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), da cidade de São Leopoldo (RG), por implantar um SGA e ser a primeira universidade da América Latina a ser certificada segundo a ISO 14001 em dezembro de 2004 e a Universidade Positivo, da cidade de Curitiba (PR), que recebeu este certificado, em dezembro de 2013, devido a implantação de um eficiente SGA, sendo a segunda instituição de ensino superior do país a receber esta certificação (UNISINOS, 2014; UNIVERSIDADE POSITIVO, 2014).

Outros exemplos de implantação de um SGA e Política Ambiental em instituições de ensino superior, no país, são: a Universidade de Blumenau (FURB), de Santa Catarina, em 2000 e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2008, mas desde 2001, essa desenvolve ações de proteção ambiental como a criação do Centro de Gestão e Tratamento de Resíduos Químicos que começou funcionar em 2002 (FURB, 2014; UFRGS, 2014; CGTRQ, 2014).

Assim como várias ações praticadas na gestão ambiental pelas universidades, foram criados modelos de gerenciamento de resíduos químicos que respeitam tanto o tipo e volume desses materiais quanto as restrições impostas pelos órgãos de fiscalização ambientais estaduais (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

O gerenciamento de resíduos perigosos em instituições de ensino e pesquisa começou a ser discutido, de forma ampla no Brasil, nos anos de 1990, dando ênfase na questão dos resíduos químicos gerados em laboratórios de universidades, unidades industriais ou de pesquisa (AFONSO *et al.*, 2003, AFONSO; SILVEIRA; OLIVEIRA, 2005).

Um resíduo de laboratório jamais deve ser eliminado sem antes existir a certeza que se está utilizando um método seguro de descarte. Realmente houve um tempo em que os resíduos eram lançados na rede de esgotos dos laboratórios sem preocupação alguma com a segurança do aluno. Tal descarte, há trinta anos, era considerado irrelevante, pois acreditava-se que o efeito da diluição era capaz de eliminar ou reduzir o potencial nocivo dos resíduos descartados e que como a quantidade era considerada pequena os efeitos de eliminação desses na natureza eram insignificantes para os ecossistemas. Esta prática, fruto do desconhecimento, muitas vezes foi testemunhada por bons alunos, professores e funcionários. Atualmente, com o avanço do conhecimento, esta prática tornou-se absurda, visto que pequenas quantidades de determinados produtos químicos (dioxinas, cianetos e metais pesados, por exemplo), mesmo muito diluídos, apresentam elevado potencial de envenenamento para flora e fauna que, conseqüentemente, afetam o Homem (PINA, 2009).

Há anos, todos os laboratórios e setores de universidades que utilizam produtos químicos, são cobrados para implantarem procedimentos para o tratamento e disposição final dos resíduos perigosos gerados em suas atividades rotineiras. Estes resíduos são considerados diferentes, em relação aos gerados em indústrias, pelo fato de apresentarem baixo volume e uma grande diversidade de composições, isso dificulta na padronização de tratamento e disposição final (GERBASE *et al.*, 2005).

Atualmente, a situação de instituições de ensino e pesquisa que ainda não possuem um sistema de gestão de resíduos perigosos, apresenta na sua maioria, estoques inadequados dos resíduos em suas próprias unidades, que ficam por um tempo indeterminado aguardando um destino final. Este é um problema que pode atingir graves proporções, pois além da estocagem de forma inadequada ainda há uma cultura dominante do descarte em pias do laboratório. Isto ocorre, principalmente, em instituições públicas que não possuem uma política institucional que abranja o tratamento global do problema. Dentro deste cenário, destaca os danos ambientais como um dos problemas mais graves do mau uso da química (GERBASE *et al.*, 2005).

As questões ambientais estão preocupando cada vez mais vários segmentos da sociedade. As universidades, por desempenhar seu papel de avaliadora, que geralmente acusa, dos outros geradores de resíduos fora de seus limites físicos, não pode simplesmente ignorar que também é uma geradora de resíduos comuns e perigosos. Frente tanto ao seu importante papel na sociedade, quanto à importância ambiental que estes resíduos apresentam, as universidades devem implantar programas de gestão de resíduos (JARDIM, 1998).

Dentro deste programa é fundamental que haja a caracterização dos resíduos, assim como a rotulagem e a identificação dos resíduos químicos. Assim, a mudança de atitude poderá diminuir a geração de futuros passivos ambientais, bem como possibilitará o reuso e o reciclo dos resíduos (JARDIM, 1998).

O tratamento de resíduos “in situ” também deve ser implantado e magnificado para que apenas o mínimo seja enviado para fora da unidade geradora (destinação final) (JARDIM, 1998). De acordo com Nolasco, Tavares e

Bendassolli (2006), a implantação deste programa deve seguir uma escala de prioridades que tenha como objetivo, a princípio, a prevenção da geração de resíduos, ou seja, evitar sempre que possível a geração, por meio da modificação de um processo qualquer, substituição de matérias primas ou insumos. Caso não seja possível prevenir a geração de resíduos, é possível minimizá-la.

A próxima prioridade é o reaproveitamento de um resíduo se a geração deste for inevitável, por meio da reciclagem, recuperação ou reutilização (NOLASCO, TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

A penúltima prática a ser realizada é o tratamento, que pode ser físico, químico, biológico ou térmico, sendo que as mais utilizadas são a neutralização ácido/base e precipitação química de metais devido à praticidade metodológica e por não serem necessários equipamentos sofisticados (NOLASCO, TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

A disposição adequada dos resíduos é a última prioridade, que pode ocorrer em aterros ou em outros locais apropriados. É fundamental destacar que o programa siga esta escala de prioridades para não inviabilizar a atividade gerenciadora (NOLASCO, TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

A implantação da gestão dos resíduos perigosos nas universidades, apesar de ter diversas ações isoladas, deve ser de forma coletiva, por toda comunidade científica, isto é, deve ocorrer uma sensibilização e conscientização por parte de todos como responsáveis pela geração de seus resíduos (GERBASE *et al.*, 2005).

Vale ressaltar que é necessária a reivindicação por parte da comunidade científica, da implantação de uma política institucional de gerenciamentos dos resíduos perigosos, da alocação de fundos e lançamentos de editais específicos para gestão ambiental, bem como para o gerenciamento de resíduos perigosos, em instituições de ensino e pesquisa. Outra questão fundamental é a inclusão de critérios de qualidade para serem avaliados perante o Ministério da Educação (MEC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) quanto ao surgimento de projetos de cursos de graduação e pós-graduação nas instituições que gerem resíduos perigosos (GERBASE *et al.*, 2005).

É importante que a instituição dê relevância à questão da sustentação do

programa depender da motivação das pessoas envolvidas e que após sua implementação se, numa primeira tentativa, houver falhas poderá desestimular a motivação por parte dos envolvidos em novas tentativas (JARDIM, 1998).

O sucesso do programa está fortemente ligado ao aspecto humano, pois é por intermédio das mudanças de atitudes de todos os envolvidos na geração dos resíduos (funcionários, docentes, alunos) que serão atingidos os resultados esperados. É óbvia a necessidade da divulgação interna e externa do programa de gestão de resíduos para a conscientização, sensibilização e difusão das ideias e atitudes para o sustento, manutenção e continuidade do programa. Como premissa final deve-se trabalhar com metas reais, reavaliando os êxodos e os insucessos obtidos para que se necessário adequar o programa tornando-o realizável, praticável (JARDIM, 1998, NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

Após a implantação do programa, este tende a tornar-se consistente por apresentar aspectos positivos financeiros e ambientais para a instituição, como a redução de gastos com compras de reagentes e consumo geral, armazenamento, tratamento e disposição de resíduos perigosos, desenvolvimento de pesquisas e novas tecnologias, minimização de risco com o acréscimo da segurança, valorização e especialização dos profissionais envolvidos, que afeta positivamente a qualidade das pesquisas. Este processo pode ser considerado como um ciclo de melhoramento contínuo, que possibilita a constante minimização dos impactos ambientais e a garantia de melhorias na qualidade de vida para as presentes e futuras gerações (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

2.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PERIGOSOS NA UFPR

Na Universidade Federal do Paraná foi criada, no início de 2002, a Divisão de Gestão Ambiental (DGA) para gerenciar as atividades relacionadas ao meio ambiente, tais como: Contato com diferentes especialistas para buscar soluções

e/ou minimizar os problemas detectados; Gerenciamento Integrado de Resíduos (resíduo comum, perigosos, de serviços de saúde e de construção civil); Levantamento de passivos ambientais, com o objetivo de destiná-los adequadamente; Promoção de mudança de atitudes na comunidade acadêmica, em busca de uma universidade mais limpa e sustentável; Capacitação de terceirizados, para obter uma operacionalização eficaz dos resíduos sólidos gerados; Assessoria aos diferentes setores da Universidade quanto ao gerenciamento de resíduos perigosos gerados na UFPR; Assessoria a alta administração, quando solicitada; dentre outras (DGA, 2014).

A DGA possui o Programa Institucional Separando Juntos na UFPR para tratar do Gerenciamento Integrado de Resíduos da mesma e um site na intranet da página da UFPR explicando como se deve proceder ao gerenciamento dos resíduos químicos (DGA, 2014).

Dentro deste procedimento, há uma normatização a ser seguida na solicitação para a destinação dos mesmos, como a formalização do pedido mediante o envio de uma tabela, contendo as informações exigidas pela DGA, para o endereço eletrônico especificado no site (ZANELATTO, 2009).

A tabela deve conter as seguintes informações: o tipo da substância do resíduo a ser descartado, seu estado físico (líquido ou sólido), sua classificação de acordo com as normas da UFPR, o tipo de armazenamento, sua quantidade, seu volume e sua geração média, em litros por mês, podendo ser uma estimativa anual ou semestral (ZANELATTO, 2009).

Também é exigido pela DGA, o preenchimento de uma ficha de identificação de resíduo químico (FIRQ) e quantificação dos resíduos perigosos em três vias para controle, sendo uma via para a própria unidade geradora, uma segunda para o DGA para fins de controle da geração de resíduos perigosos da UFPR e uma terceira que será entregue para o motorista da empresa especializada contratada para a coleta e o transporte destes resíduos até a empresa especializada contratada para o tratamento e destinação final dos mesmos (ZANELATTO, 2009).

Na padronização da DGA é importante destacar que a mesma fornece as

bombonas (tampa fixa para líquidos e tampa móvel para sólidos) para o armazenamento dos resíduos e os lacres numerados no intuito de otimizar o controle dos tipos de resíduos perigosos que estão saindo da UFPR. É solicitada a indicação da numeração destes lacres na FIRQ. Outra exigência desta divisão é de que todos os resíduos perigosos a serem descartados devam ser tratados (inertizados) para garantir a segurança do transporte dos mesmos.

No site da DGA é possível acessar a norma para coleta, tratamento e armazenagem de resíduos químicos da UFPR, a tabela de classificação geral dos resíduos de laboratório da mesma, que contém informações sobre o tipo de resíduos, exemplos e o que fazer com eles antes de ser armazenado nas bombonas, o modelo de FIRQ a ser seguida e uma tabela de produtos químicos incompatíveis para orientar os geradores de quais produtos podem ser compatíveis e misturados (ZANELATTO, 2009).

2.4 NORMAS E PARÂMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

A União Europeia classifica seus resíduos por intermédio de uma listagem de determinadas substâncias ou grupos de substâncias recorrendo ao Anexo VI do Regulamento (EC) número 1272/2008, e como complemento para substâncias perigosas há a Diretiva 67/548/EEC e para preparações ou misturas perigosas a Diretiva 1999/45/EC. Esta última terá *status* legal apenas até dia 01 de junho de 2015, após esta data valerá apenas as duas citadas anteriormente (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

O inventário europeu de substâncias químicas comerciais existentes (*European Inventory of Existing Commercial chemical Substances - EINECS*) contém 100.204 substâncias listadas com informações gerais como o número CAS, o número EINECS, o nome da substância e a fórmula química (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Os EUA criou, em 1976, a lei *RCRA* “*The Resource Conservation and Recovery Act*” (Lei da Conservação e Recuperação), que orienta de forma geral o programa de gestão de resíduos. Esta lei determina que a “*Environmental Protection Agency - EPA*” (Agência de Proteção Ambiental), seja a dirigente no desenvolvimento de um conjunto de regulamentos para implementar a lei (EPA, 2013a).

A classificação dos resíduos perigosos dos EUA situa-se nas subpartes A, B, C e D, da parte 261 (Identificação e registros de resíduos perigosos), do *Code of Federal Regulations - CFR40* (Código dos Regulamentos Federais, título 40 - Proteção do Meio Ambiente), da lei *RCRA*. Segundo a *EPA*, o resíduo perigoso é um resíduo com propriedades que o tornam perigoso ou potencialmente prejudicial para a saúde humana ou meio ambiente e de acordo com a *RCRA*, este tipo de resíduo se enquadra em duas categorias: primeira a dos resíduos contidos nas listagens F, K, P e U, que são os de origens não específicas (Lista F), os de origens específicas (Lista K) e os produtos químicos comerciais descartados (Lista P e U) e segunda a dos resíduos que apresentem uma ou mais das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Na *RCRA*, também há o programa de resíduos perigosos que estabelece um sistema de controle destes a partir do momento que é gerado até sua disposição final, ou seja, do “berço ao túmulo” (EPA, 2013a).

No Brasil, para a classificação dos resíduos sólidos, perigoso ou não, tem-se como referência a norma NBR 10.004, de 2004, da Associação brasileira de Normas Técnicas – ABNT, baseada na *CRF40* (parte 260-265) da *EPA*. Segundo esta norma, para a classificação de resíduos sólidos é necessária a identificação da fonte geradora, isto é, do processo ou a atividade que o originou e a comparação dos constituintes do resíduo com as listagens de resíduos e com as substâncias que é conhecido o impacto à saúde e ao meio ambiente. Nesta norma contém uma listagem de diversos resíduos não perigosos e perigosos, onde este último leva em consideração se sua fonte não é específica (Anexo A desta norma), se a fonte é específica (Anexo B), se apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade (códigos D001, D002,

D003 e D004 respectivamente), se seu perigo é devido à toxicidade (Anexo F) e se apresentam as substâncias listadas nos Anexos D e E que indicam a periculosidade ao resíduo e classifica-o como perigoso devido à sua característica de toxicidade, sendo substâncias agudamente tóxicas ou tóxicas (ABNT, 2004).

A NBR 10.004 define o resíduo perigoso como sendo aquele que apresenta periculosidade ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade descritas nesta norma ou que constem nos Anexos A ou B da mesma, classificando-os como resíduos de classe I (ABNT, 2004).

Conforme demonstra o Quadro 1, no que dizem respeito aos regulamentos que regem as normas da União Europeia, EUA e Brasil, as três abrangem os quesitos Definições, Identificação e Classificação de perigo, mas na União Europeia há mais a Rotulagem (ABNT, 2004; EPA, 2013a).

Em relação às características de periculosidade de um resíduo (Quadro 1), a norma brasileira tem como característica adicional a patogenicidade em comparação às outras duas normas e a norma da União Europeia apresenta as seguintes características adicionais: explosivas, oxidantes, nocivas, irritantes, sensibilizantes, cancerígenas, mutagênicas, tóxicas para reprodução e perigosas para o meio ambiente. Tanto a *CFR40*, quanto a NBR 10.004 citam a reação explosiva na característica Reatividade e a reação oxidante na Inflamabilidade. O regulamento europeu especifica a característica Inflamabilidade em Extremamente Inflamáveis, Facilmente Inflamáveis e Inflamáveis e a Toxicidade em Muito Tóxicas, Tóxicas, Nocivas e Tóxicas para a reprodução, enquanto que as outras duas não fazem esta especificação, mas apresentam as propriedades que caracterizam um resíduo como inflamável ou tóxico. A norma brasileira cita o efeito nocivo, na característica Toxicidade, quando há a presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico e na norma americana consta o Anexo VIII que especifica que os resíduos serão listados neste se apresentarem efeitos tóxicos, cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos nos seres humanos ou outras formas de vida desde que tenham sido demonstrados em estudos científicos (ABNT, 2004; EPA, 2013a).

QUESITOS EM COMPARAÇÃO	ANEXO VI DO REGULAMENTO 1272/2008	CFR40	NBR 10.004/2004
Regulamentos que regem a norma:	Definições; Identificação; Classificação de perigo; Rotulagem.	Definições; Identificação; Classificação de perigo.	Definições; Identificação e Classificação de perigo.
Características de periculosidade:	Explosivas; Oxidantes; Extremamente Inflamáveis; Facilmente inflamáveis; Inflamáveis; Muito Tóxicas; Tóxicas; Nocivas; Corrosivas; Irritantes; Sensibilizantes; Cancerígenas; Mutagênicas; Tóxicas para a reprodução; Perigosas para o ambiente.	Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade.	Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade; Patogenicidade.
Lista de resíduos perigosos classificados:	Quadro 3.1 e Quadro 3.2 (Anexo I da Diretiva 67/548/CEE) do Anexo VI (Classificação e rotulagem harmonizadas de determinadas substâncias perigosas)	Lista F (resíduos com origem não específica); Lista K (resíduos com origem específica); Lista P e Lista U (produtos químicos comerciais descartados).	Anexo A (Resíduos perigosos de fontes não específicas); Anexo B (Resíduos perigosos de fontes específicas); Anexo C (Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos); Anexo D (Substâncias agudamente tóxicas) e Anexo E (Substâncias tóxicas).
Informações das listas:	Número de Índice; Identificação Internacional das Substâncias Químicas (nome da substância); Número CE; Número CAS; Classificação (Código(s) das classes e categorias de perigos e Código(s) das advertências de perigo); Rotulagem (Código(s) dos pictogramas e Palavras-sinal,	<u>Lista F: Número EPA dos resíduos perigosos e industriais; Resíduos Perigoso</u> (nome(s) da substância(s)); Código(s) de perigo. <u>Lista K: Número EPA dos resíduos perigosos e industriais; Resíduos Perigoso</u> (nome(s) da substância(s) de acordo com sua fonte);	<u>Anexo A e Anexo B: Código de Identificação; Resíduo Perigoso; Constituinte perigoso; Característica de periculosidade</u> <u>Anexo C: Substâncias</u> (Nome comum e Outra denominação); Código de Identificação; Número CAS.

Conclusão.

QUESITOS EM COMPARAÇÃO	ANEXO VI DO REGULAMENTO 1272/2008	CFR40	NBR 10.004/2004
Informações das listas:	Código(s) da(s) advertência(s) de perigo e Código(s) das advertências de perigo adicionais); Limites de concentração específicos e fatores-M; Notas.	Código(s) de perigo. Lista P e Lista U: Número do resíduo perigoso; Número CAS; Substância (com código(s) de perigo)	<u>Anexo D e E:</u> Substâncias; Código de Identificação; Número CAS.

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO DAS NORMAS

FONTE: ABNT (2004); UNIÃO EUROPEIA (2008); EPA (2013a)

A classificação e a rotulagem do Regulamento 1272/2008 são obrigatórias para os fornecedores da substância em questão para proporcionar aos utilizadores informações fundamentais sobre seus potenciais efeitos perigosos e sobre como utilizá-la da melhor forma com segurança. Referente às regras de embalagem e rotulagem, este regulamento define normas gerais com o intuito de garantir a segurança do fornecimento das substâncias e misturas perigosas, assim como seu manuseio (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Na parte das Definições, tanto a RCRA, quanto a NBR 10.004/2004 utilizam a palavra “resíduos perigosos”, enquanto que o Regulamento 1272/2008 utiliza “substâncias e misturas perigosas”. As três normas definem um resíduo ou substância perigosa quando uma ou mais das características de periculosidade citadas nas referentes normas são encontradas (ABNT, 2004; UNIÃO EUROPEIA, 2008; EPA, 2013a).

A norma europeia determina que a identificação dos perigos das substâncias e misturas é de responsabilidade dos fabricantes, importadores e utilizadores, que esses devem identificar as informações disponíveis pertinentes para determinar se a substância comporta um perigo físico para a saúde ou para o meio ambiente e recomenda que seja utilizado o nome *IUPAC – International Union of Pure e Applied Chemistry* (União Internacional de Química Pura e Aplicada) (UNIÃO EUROPEIA, 2008). A nomenclatura *IUPAC* tem o objetivo da padronização internacional da nomenclatura química. Suas recomendações têm como principal finalidade a criação da nomenclatura química por meio de palavras

escritas ou pronunciadas que requer um sistema de princípios e normas que quando aplicadas originam uma nomenclatura sistemática (RODRIGUES, 2001; IUPAC, 2014).

Além do número *IUPAC*, são solicitados os Números de índices e os Números CE das substâncias (Quadro 1). O número de índice da cada substância trata-se de uma sequência numérica do tipo ABC-RST-VW-Y, onde ABC corresponde ao número atômico do elemento mais característico ou do grupo orgânico mais característico da molécula, RST é o número de ordem da substância na série ABC, VW é a forma na qual a substância é produzida ou colocada no mercado e Y é o algarismo de controle, calculado segundo o método ISBN (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

O número CE é o número oficial da substância na União Europeia, que pode ser o *EINECS*, *ELINCS* (*European List of Notified Chemical Substances*) ou *NLP* (*No-longer-polymers*). O número *EINECS* pode ser obtido a partir do Inventário Europeu das substâncias químicas existentes no *EINECS*, o número *ELINCS* pode ser obtido pela Lista Europeia das Substâncias Químicas Notificadas e o número *NLP* pode ser obtido pela lista de “Ex-polímeros” (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Este regulamento também determina que as substâncias colocadas no mercado devam fazer parte do inventário da *ECHA* (*European Chemicals Agency*), após sua devida identificação de acordo com as regras desse regulamento, para assegurar o funcionamento do mercado interno das substâncias e garantir um nível elevado de proteção da saúde humana e do meio ambiente (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Os EUA também estabelecem que a responsabilidade seja do gerador para determinar se os resíduos são perigosos e que cada resíduo identificado deve ser atribuído a um Número EPA de Resíduos Perigosos, que é aplicável, conforme estabelecido na parte 261, da *CRF40* (EPA, 2013a).

Já no Brasil, a NBR 10.004 menciona que a identificação deve ser criteriosa e estabelecida conforme as matérias-primas, os insumos e o processo que deu origem ao resíduo perigoso, que o laudo de classificação deve ser elaborado por

responsáveis técnicos habilitados e estabelece códigos de identificação para os resíduos de acordo com suas características (ABNT, 2004).

As três normas utilizam os números *CAS* (*Chemical Abstracts Service*) que são universalmente usados para fornecer um único e inconfundível identificador para substâncias químicas. O número em si não tem significado químico, mas possibilita identificar uma substância química ou estrutura molecular, de uma maneira inequívoca, quando há muitas possibilidades sistemáticas, propriedades, nomes genéricos e triviais. Os números *CAS* são muito utilizados em bancos de dados públicos e privados, bem como em listas para inventário de produtos químicos (CAS, 2014).

De acordo com o Quadro 1, na lista de classificação dos resíduos perigosos do Anexo VI, do Regulamento 1272, há informações adicionais comparadas as outras duas normas, como Códigos das classes e categorias de perigos, Códigos das advertências de perigo, Códigos dos pictogramas e Palavras-sinal, Códigos das advertências de perigo adicionais, Limites de concentração específicos, fatores-M e Notas.

Para a classificação, os Códigos das classes e categorias de perigos usados para cada uma das respectivas categorias/divisões/tipos de perigo são apresentadas no Quadro 1.1 do Anexo VI do regulamento em questão e os Códigos de advertências de perigo constam no Anexo III (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Para os códigos de rotulagem, os Códigos das advertências de perigo adicionais constam no Anexo VI, os Códigos dos pictogramas são apresentados no Anexo V e as Palavras-sinal são “*Dgr*” – *Danger* (perigo) e “*Wng*” – *Warning* (atenção) devem seguir as regras do artigo 20, do regulamento (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

Para os Limites de Concentração diferentes dos que constam no Anexo I do regulamento, os limites de concentração específicos para uma determinada categoria são apresentados em uma coluna separada (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

O valor de fator-M (fator de multiplicação), será utilizado, pelo produtor, importador ou distribuidor, para classificar uma mistura que contenha

componentes de toxicidade aguda/crônica da categoria 1, com base no método da soma, ou seja, o classificador tem que estar informado do valor do fator-M (Quadro 4.1.3. do Anexo I), para aplicar o método da soma. As Notas são relativas à identificação, classificação e rotulagem de substâncias e à classificação e rotulagem de misturas (Anexo VI do regulamento) (UNIÃO EUROPEIA, 2008).

As normas do Brasil e do EUA, apresentam as mesmas informações e códigos, a diferença é que a *CRF40* chama de Lista F para resíduos com origem não específica, de Lista K com origem específica e Lista P e Lista U para produtos químicos comerciais descartados enquanto que a NBR 10004 chama de Anexo A para resíduos perigosos de fontes não específicas, de Anexo B para resíduos perigosos de fontes específicas, de Anexo D para substâncias agudamente tóxicas e de Anexo E para substâncias tóxicas, sendo que os anexos D e E apresentam as mesmas substâncias e códigos das listas P e U, só estão nomeadas diferentes. O Anexo C, da norma brasileira, para substâncias que conferem periculosidade aos resíduos é o mesmo que o Anexo VIII (Constituintes perigosos) da norma americana. Em relação aos limites de concentração de contaminantes para a característica Toxicidade, a NBR 10.004 contém o Anexo F que são dados extraídos da Tabela 1-A, parte 261.24, da *CFR40* (ABNT, 2004; EPA, 2013a).

2.5 ÍNDICES DE PERICULOSIDADE

Efeitos adversos no meio ambiente podem ser resultantes da presença de um poluente em concentrações significativas na água, sedimento, solo e ar, portanto estes efeitos também dependem do tempo de exposição e da concentração (FROEHNER; MARTINS, 2008). A presença de agentes químicos nos ecossistemas aquáticos sempre representa um risco aos seres vivos, ou seja, não há 100% de segurança que não ocorram efeitos tóxicos aos organismos expostos aos agentes químicos. Com uma avaliação científica, através dos testes

de toxicidade, pode ser julgada a probabilidade de danos que suas concentrações ambientais, conhecidas ou estimadas, podem causar aos organismos aquáticos (BERTOLETTI, 2013).

O desenvolvimento de medidas para minimizar os impactos ambientais e suas consequências nocivas para os recursos biológicos, ecossistemas e saúde humana é uma tarefa desafiadora para os legisladores e reguladores ambientais. Uma grande dificuldade, em termos de avaliação de impacto e de riscos, é a de associar os efeitos nocivos da poluição (incluindo produtos químicos tóxicos) em animais sentinelas (que gera respostas a parâmetros externos) para as suas consequências ecológicas. Esta dificuldade resultou em uma base de conhecimento para aqueles que procuram desenvolver políticas eficazes para o uso sustentável dos recursos e a proteção ambiental por meio de diagnósticos realizados em testes ecotoxicológicos, que fornecem informações sobre o estado de saúde de indivíduos e populações, com base em amostras relativamente pequenas de indivíduos, com rapidez e baixo custo (MOORE *et al.* 2004).

Para a classificação de substâncias tóxicas em classes de toxicidade ou periculosidade e risco ambiental são utilizados resultados de estudos toxicológicos e ecotoxicológicos, principalmente os dados calculados em testes. A periculosidade expressa o potencial tóxico das substâncias classificando-as em potencial de periculosidade. A classificação dos compostos tóxicos pela toxicidade aguda ou periculosidade são divididas em seis classes variando do mínimo a super tóxica ou perigosa. (HELFRICH *et al.*, 2009).

O início do processo de avaliação de risco de um componente químico é a caracterização da toxicidade associada ao produto químico. Na avaliação de risco para seres humanos, esta caracterização envolve a definição de toxicidade aguda e crônica do produto químico utilizando espécies de mamíferos, como ratos e camundongos, e a incerteza no uso da espécie a ser testada. Esta incerteza associada à caracterização da toxicidade aumenta significativamente na avaliação do risco ecológico, pois o alvo do teste não se refere a uma única espécie (por exemplo, humanos), mas num complexo conjunto de espécies que inclui microrganismos, plantas, invertebrados e vertebrados. Procedimentos para a

caracterização da toxicidade aguda de produtos químicos no meio ambiente são padronizados e passíveis de utilização de uma grande variedade de espécies, enquanto que as avaliações definitivas da toxicidade crônica é uma tarefa mais complexa, devido ao conhecimento limitado do ciclo de vida do organismo, da incapacidade de manter muitas espécies em laboratório sobre seu ciclo de vida, do fracasso para induzir condições de reprodução em laboratório e da duração de tempo necessária para avaliar a toxicidade química sobre o ciclo de vida do organismo (LEBLANC; BAIN, 1997).

A toxicidade decorrente da exposição de um composto químico está relacionada com suscetibilidade do organismo, características químicas do agente e fatores ambientais. O efeito resultante pode variar em função da concentração e do período de exposição. Geralmente, as concentrações elevadas provocam respostas agudas, enquanto que as concentrações baixas tendem a produzir respostas crônicas, que demandam de um intervalo longo para se detectar efeitos. Os sinais de toxicidade definem o limite de quantidade a ser considerado. Assim, o aumento da concentração resulta em uma resposta diferente em função da gravidade desse aumento (HERRICKS, 2002).

A valor administrado (por via oral, dérmica ou por inalação) corresponde ao grau de exposição ao qual o animal é submetido. Destaca-se que uma pequena quantidade de uma substância química muito tóxica é mais danosa ou letal do que de uma menos tóxica. A dosagem podem ser expressa pela massa da substância por unidade (kg) de massa corporal, ou seja mg da substância/kg de peso corporal, ou através da concentração de substância tóxica em água ou alimentos (geralmente expressa em partes por milhão, ppm ou mg/L, ou partes por bilhão, ppb ou $\mu\text{g/L}$) (HELFRICH *et al.*, 2009). Os efeitos agudos são os que ocorrem rapidamente em animais após uma dose única ou uma exposição única a um produto químico. A morte é o efeito agudo mais comumente usado em testes de toxicidade. Uma dose letal é a quantidade de substância química necessária para causar a morte. Uma vez que nem todos os animais de uma espécie morrem com a mesma dose (alguns são mais tolerante do que os outros), é utilizada uma medição padrão da dose de toxicidade, chamada de concentração letal 50. A

toxicidade aguda de produtos químicos tóxicos para animais aquáticos geralmente é relatado como um valor CL50. O valor de CL50 é a concentração de um produto químico em água, que pode matar 50 por cento dos animais do teste num dado período de tempo. É dado um tempo de exposição de 24, 48 ou 96 horas. O produto químico mais tóxico terá o menor valor de CL50 (CL50) (EPA, 2014b).

Nos testes de toxicidade aguda com peixes é utilizado como parâmetro a mortalidade, ou seja, para o teste de Concentração Letal Média (CL50) (COSTA *et al.*, 2008). Várias espécies de peixes são utilizadas como bioindicadores, geralmente os indivíduos são colocados em contato com a substância teste e suas reações são verificadas (HARMEL, 2004). O uso de peixes como bioindicadores aumenta a probabilidade de identificação de causa (contaminante) e efeito (resposta biológica) nos ecossistemas aquáticos, pois fornece sinais de alerta de danos da população e da comunidade, que pode ajudar a explicar os efeitos de diferentes tipos de estressores ambientais sobre os organismos, demonstrar as relações entre as respostas individuais dos organismos expostos aos contaminantes, os efeitos nos níveis mais elevados da organização biológica como populações e comunidades e de prever os potenciais efeitos sobre a saúde humana como base nas respostas em espécies de peixes representativos para os contaminantes. Além da mortalidade, são observadas algumas respostas bioindicadoras em peixes, como: indução enzimática, disfunção orgânica, aumento da frequência de lesões histopatológicas, alterações da reprodução e redução da integridade da comunidade de peixes (ADAMS *et al.*, 1999).

Os invertebrados aquáticos são muito utilizados em testes de toxicidade, como os crustáceos do gênero *Daphnia* (ordem *Cladocera*), vulgarmente conhecidos como pulgas d'água, por estarem distribuídos nos corpos de água doce de forma ampla, por sua importância em muitas cadeias alimentares e por ser uma importante fonte de alimento para peixes. Apresentam um ciclo de vida relativamente curto, são de fácil cultivo em laboratórios, são sensíveis a diversos contaminantes do meio aquático e devido ao seu tamanho pequeno, necessitam de menores volumes de amostras teste e água de diluição em relação aos testes com peixes e algas (COONEY, 1995; SHAW; CHADWICK, 1998). Em testes de

toxicidade com microcrustáceos, o efeito tóxico que é avaliado com frequência é a imobilidade, isto porque esses organismos apresentam um tamanho pequeno que dificulta a avaliação de óbito (SHAW; CHADWICK, 1998). Para teste com crustáceos ou outros invertebrados utiliza-se a Concentração Efetiva Média (CE50), que é a concentração de amostra que causa um efeito agudo, por exemplo, a imobilidade, a 50% dos organismos no tempo de exposição, que pode ser de 24 a 48 horas, e nas condições do teste (COSTA *et al.*, 2008).

Para testes de toxicidade oral, a Dose Letal (DL50) é o índice mais amplamente utilizado para a toxicidade aguda. Esse número é obtido, através de uma representação gráfica, do número de mortes entre um grupo de animais experimentais (geralmente ratos), em vários níveis de exposição à substância química, pela interpolação da curva dose-resposta resultante à dose em que a metade dos animais está em óbito (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Muitas vezes, são utilizados espécies de ratos, de ambos os sexos, e determinada uma via de exposição para prever, para fins de regulamentação, a via de exposição mais provável para os seres humanos. Conseqüentemente, uma substância química que entra no organismo por via oral, durante um tempo determinado, e produz algum efeito adverso com curta duração é oralmente e agudamente tóxico. O teste de toxicidade aguda é utilizado para fins de obtenção de informação sobre a atividade biológica de uma substância química e uma visão de seu mecanismo de ação. As informações deste teste são utilizadas na identificação de perigo e gestão de risco no contexto de produção, manuseio e uso de produtos químicos. O valor de DL50 (preciso ou aproximado) é utilizado como base para classificação toxicológica de produtos químicos e, portanto, exigido pelas autoridades governamentais em diferentes situações (WALUM, 1998).

2.6 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os diversos impactos no meio ambiente dependem da quantidade de

poluente emitido nele, das características físico-químicas do poluente, do transporte e mobilidade, do tempo de permanência e da toxicidade do poluente químico para o ecossistema, ou seja, é extremamente importante a avaliação de um composto de alta periculosidade e toxicidade (BURKHARD, 2008).

O impacto ambiental de uma substância química também considera a sua distribuição entre os compartimentos ambientais e o transporte e processos de degradação, ou seja, a distribuição na água e nos sólidos em suspensão, o seu particionamento e absorção em biota (bioconcentração), adsorção em sedimentos, volatilização da água e degradação, tanto biótica quanto abiótica. Conhecimento quantitativo das emissões durante o ciclo de vida de um produto químico, bem como do seu destino ambiental, permite modelar as concentrações de um determinado poluente nos diferentes compartimentos do meio ambiente, isto é, realizar a avaliação da exposição ambiental (VERHAAR; LEEUWEN; HERMENS, 1992).

Para avaliar o grau final do perigo, que os resíduos representam para os seres humanos e os ecossistemas, é fundamental analisar tanto as propriedades físicas quanto as químicas. Dentre os efeitos físico-químicos estão a inflamabilidade, a corrosividade e a reatividade dos químicos utilizados (MUSEE; LORENZEN; ALDRICH, 2008a).

O risco de inflamabilidade de um determinado produto químico pode ser atribuído aos vários fatores, tais como: ponto de ebulição, ponto de fulgor, velocidade de combustão da chama, ponto de combustão, temperatura de auto-ignição, limites de inflamabilidade, entre outros (MUSEE; LORENZEN; ALDRICH, 2008a).

Um resíduo é considerado inflamável, se for líquido com ponto de fulgor inferior a 60°C (140°F), executando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume, se for sólido capaz de produzir fogo, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 MPa (cerca de 1 atm), por meio de fricção, de absorção de umidade, ou pode sofrer uma transformação química espontânea que, quando inflamada, pode resultar numa queima vigorosa e persistente, dificultando a extinção do fogo. Também pode ser considerado como inflamável se

for um oxidante, ou seja, uma substância que pode liberar oxigênio e resultar no estímulo da combustão e no aumento da intensidade do fogo em outro material ou se for gás comprimido inflamável (ABNT, 2004; MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 2009).

Um dos fatores críticos que deve ser examinado nos constituintes químicos dos resíduos perigosos é a reatividade. Deve haver uma avaliação abrangente da natureza perigosa dos resíduos, que é fundamental para estabelecer se eles podem ser manipulados com segurança durante a produção, armazenamento, transporte, tratamento, bem como processos de disposição (MUSEE; LORENZEN, ALDRICH, 2008a). Segundo ABNT (2004, p. 4), um resíduo é considerado como reativo se apresentar as seguintes características:

- a) ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;
- b) reagir violentamente com a água;
- c) formar misturas potencialmente explosivas com a água;
- d) gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água;
- e) possuir em sua constituição os íons CN^- ou S^{2-} em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de H_2S liberável por quilograma de resíduo, de acordo com ensaio estabelecido no USEPA - SW 846;
- f) ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;
- g) ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 MPa (1 atm);
- h) ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para este fim.

Tanto a NBR 10.004/2004, do Brasil, quanto a *CRF40*, dos EUA, apresentam as mesmas propriedades para caracterizar uma substância, ou resíduo, como reativa. Já o Regulamento 1272/2008, da União Europeia, cita a reatividade na definição das propriedades explosivas, de que como estão associadas à presença de determinados grupos químicos numa molécula, que podem reagir e produzir aumentos muito rápidos da temperatura ou da pressão. Também define substâncias ou misturas auto-reativas como substâncias ou misturas líquidas ou sólidas termicamente instáveis, suscetíveis à ocorrência de uma decomposição fortemente exotérmica, sem a participação de oxigênio,

possuir propriedades explosivas como, capaz de detonar, deflagrar rapidamente ou de reagir violentamente durante o aquecimento em ambiente fechado (UNIÃO EUROPEIA, 2008). As propriedades das substâncias ou mistura auto-reativas, definidas por este regulamento, apresentam similaridade com as propriedades f e g, citadas acima, da NBR 10.004/2004.

O índice de classificação de risco da corrosividade é para toda a composição dos resíduos e não uma função do agregado acumulativo dos componentes constituintes. Existem duas formas para avaliação deste risco. Uma forma pode ser expressa em termos de potencial da substância em causar risco de impacto (erosão) sobre o material do recipiente que contém os resíduos, expressa em uma função do comprimento por ano, em unidades tais como mm/ano. Outra forma tem como base a capacidade dos resíduos de causar danos quando em contato com tecidos vivos e neste caso, o indicador de potencial de corrosividade dos resíduos perigosos é o pH (MUSEE; LORENZEN; ALDRICH, 2008a). Este método é bastante fácil e barato para medição da corrosividade de resíduos perigosos. Um resíduo corrosivo é uma solução aquosa que tem um pH inferior ou igual a 2 ou superior ou igual a 12,5, ou seja, resíduos com valores de pH muito alto ou muito baixo são classificados como altamente corrosivos, enquanto os que variam entre 6 e 8 são considerados como não corrosivos (MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 2009). Também é considerado corrosivo se for líquido ou, quando misturado em peso equivalente de água, produzir um líquido e causar corrosão, por exemplo, no aço a uma razão maior que 6,35 mm/ano, numa temperatura de 55°C, de acordo com USEPA SW 846 (ABNT, 2004).

Em geral, o destino e a migração dos poluentes nos compartimentos ambientais são modelados em termos das fases termodinâmicas. A disposição de um composto específico para um determinado comportamento ambiental é controlada pelas propriedades físico-químicas que rege os processos de partição, determinando o movimento e a separação, pela reatividade molecular que conduz a degradação abiótica e pela acessibilidade do composto para a degradação microbiana (SCHÜÜRMAN *et al.*, 2007).

A solubilidade e o coeficiente de partição podem ser citados como

principais propriedades que determinam o movimento e a separação de um composto, sendo responsáveis pela tendência bioacumuladora de um composto (FROEHNER; MARTINS, 2008).

O Coeficiente de partição *n-octanol/water* (K_{OW}) é definido como a razão da concentração do composto, no equilíbrio, depois da dissolução em um sistema de duas fases, formadas por dois solventes imiscíveis, água e octanol. Trata-se de uma medida da lipofilicidade de um composto. O K_{OW} pode ser relacionado com a interação do composto com o meio, no que diz respeito à absorção e transporte (SILVA; FERREIRA, 2003). Os compostos poluentes que apresentam valores de K_{OW} acima de 1000 demonstram grande afinidade lipofílica e, conseqüentemente, pouca degradação e grande possibilidade de bioacumulação, tanto em organismos aquáticos quanto em vegetais (PARAÍBA; CARRASCO; BRU, 1999).

A definição da solubilidade em água é a concentração de saturação do composto em água (mg/L de água) a uma dada temperatura e pressão, geralmente a temperatura do solo/água e pressão atmosférica (EPA, 2005). Como a solubilidade em água diminui com o aumento do peso molecular, quando um composto é poliaromático espera-se que seu destino final seja o acúmulo no solo ou em sedimentos quando em contato com a água, principalmente quando o valor de $\log K_{OW}$ for maior que 7 (FROEHNER; MARTINS, 2008).

Como o K_{OW} e a solubilidade em água estão relacionados à tendência bioacumuladora de um composto, permitem prever os Fatores de Bioconcentração – *BCF* (*Bioconcentration factors*) (DAVIES; DOBBS, 1984). O fator de bioconcentração refere-se ao potencial de bioconcentração de uma substância química, ou seja, ao grau em que um composto químico é concentrado em tecido, acima do nível, na água. A bioconcentração é definida como a acumulação de líquido de um material a partir da água em organismos aquáticos decorrente da simultânea captação e depuração. Os estudos da bioconcentração são realizados para avaliar o potencial que um composto químico tem de acumular em organismos aquáticos, o que pode acarretar, posteriormente, no consumo por organismos de nível trófico superior, incluindo o homem (ADAMS; ROWLAND, 2002). O teste *BCF* fornece uma avaliação preliminar de segurança ambiental de

uma substância química lipofílica, isto é, de uma substância mais propícia a atravessar passivamente as membranas celulares e, como consequência, há a concentração e acumulação em lipídios e gorduras (bioconcentração levando a bioacumulação pela cadeia alimentar) (DAVIES; DOBBS, 1984, DAUGHTON, 2004).

Em relação aos poluentes orgânicos, geralmente, o destino desses é determinado pela solubilidade e pela pressão de vapor (PARAÍBA; CARRASCO; BRU, 1999). A pressão de vapor é definida como a pressão desse vapor exercida em condições de equilíbrio com seu líquido a uma determinada temperatura. A pressão de vapor e a temperatura são diretamente proporcionais. A pressão de vapor fornece uma taxa semi-quantitativa da quantidade de matéria que irá volatilizar a partir do solo e/ou água (GEROLA *et al.*, 2010, EPA, 2005).

No processo de transporte e transferência de fase, os contaminantes que apresentam alta pressão de vapor e baixa solubilidade em água têm tendência à volatilização, como o benzeno, clorofórmio, diclorometano e tetracloreto de carbono. Já os contaminantes com baixa pressão de vapor e baixa solubilidade em água têm a tendência de se adsorver nos materiais particulados e nos sedimentos, como os metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos polinucleados, que podem se adsorver nos sedimentos e conseqüentemente ser transferidos para organismos que os habitam (BAIRD, 2002; KRUIJF, 1988). Os contaminantes que apresentam alta solubilidade em água tendem a permanecer nela como, por exemplo, os contaminantes orgânicos, grupos polares com hidroxilas, aminas e carboxilas que aumentam sua solubilidade em água e se volatilizam mais lentamente (KRUIJF, 1988). Esse processo de transporte e transferência de fase é um exemplo dos processos que podem ocorrer nos contaminantes em ambientes aquáticos, assim como o processo de transformação e assimilação (HOLT, 2000).

O ponto de fusão também é considerado um importante parâmetro ambiental, uma vez que ele afeta a solubilidade. O ponto de fusão de um composto é controlado principalmente por forças intermoleculares e simetria molecular (DEARDEN, 1991). A temperatura do ponto de fusão é a temperatura

do composto no qual o estado sólido do composto sofre uma mudança de fase para uma fase líquida. Na temperatura ambiente, a uma pressão atmosférica de 1 atm, os compostos estão, em geral, em qualquer estado líquido ou sólido (EPA, 2005). Se o ponto de fusão afeta a solubilidade então está relacionado à toxicidade, pois a solubilidade controla a toxicidade, ou seja, se um composto é fracamente solúvel então as suas concentrações no ambiente aquoso podem ser muito baixas para exercer um efeito tóxico e, também porque a solubilidade em água é necessária para um composto ser transportado para um local ativo dentro do organismo. Além disso, o ponto de fusão também afeta a toxicidade de misturas, pois se dois ou mais compostos com alto ponto de fusão formar um líquido quando misturados, a mistura é, geralmente, mais tóxica do que os compostos individuais, provavelmente, porque a solubilidade é aumentada (LIPNICK, 1990, DEARDEN, 1991).

2.7 LÓGICA *FUZZY* NA GESTÃO AMBIENTAL

Alguns modelos desenvolvidos com uso de Lógica *Fuzzy* tem sido descrito para gestão ambiental. Por exemplo, “Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica *fuzzy*” (MEIRELLES *et al.*, 2005); “Análise integrada do ambiente através de Geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos” (MEIRELLES, 1997); “Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando Lógica *Fuzzy*” (CAMPOS FILHO, 2004); “Aplicação da lógica nebulosa na parametrização de um novo índice de qualidade das águas” (LERMONTOV *et al.*, 2008); “Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica *Fuzzy*” (MALUTTA, 2004), entre outros.

Já no gerenciamento de resíduos em geral e/ou perigosos foi encontrado apenas o relato de Musee, Lorenzen e Aldrich (2008a, 2008b), “New methodology

for hazardous waste classification using *fuzzy set theory*: Part I Knowledge acquisition” e “New methodology for hazardous waste classification using *fuzzy set theory*: Part II Intelligent decision support system”, o qual foi discutido ao longo deste trabalho.

2.7.1 Lógica Booleana

Os modelos *Booleanos* caracterizam-se principalmente pela sua simplicidade, pois na linguagem de conjuntos, os valores expressos no conjunto de pertinência são apenas binários, ou seja, 1 (um) como sendo verdadeiro ou 0 (zero) como falso, não possibilitando a resposta *talvez* (MEIRELLES, 1997).

A álgebra *booleana* é considerada como uma ferramenta que possibilita, em linguagem matemática, engajar “as leis da verdade”. Na ciência da computação e tecnologia, a verdade e precisão são consideradas inter-relacionadas e indispensáveis no método científico, então, se algo não é absolutamente correto, logo não é verdade, como por exemplo, duas vezes dois é quatro, indiscutivelmente. As primeiras máquinas de calcular que resultavam em 3,999999 eram motivos de piadas (SIMÕES; SHAW, 1999).

As variáveis embasadas nesta teoria, onde um dado ou conjunto de dados pertence ou não ao conjunto analisado, não resultará em valores intermediários relacionados ao grau de participação no conjunto analisado, ou seja, ao grau de pertinência considerado na lógica *fuzzy* (JANÉ, 2004).

Nesta lógica tradicional, as operações com conjuntos são essencialmente as operações booleanas pelos conectivos *E*, *OU* e *NÃO* e as inferências relativas a uma hipótese com base na aplicação de um conjunto de regras *Booleanas* consistem num dos métodos de representação do conhecimento que é muitas vezes ineficiente (SIMÕES; SHAW, 1999, MEIRELLES, 1997).

2.7.2 Lógica Fuzzy

Teoria dos conjuntos *fuzzy* tem sido amplamente aplicada, uma vez que foi concebida para complementar a interpretação linguística ou mensurar as incertezas de eventuais fenômenos do mundo real (DAHIYA *et al.*, 2007). Um dos maiores problemas relacionados com a representação do conhecimento é a dificuldade de expressão, com a precisão desejada, dos pensamentos, das sensações do mundo físico do nosso entorno. A lógica *fuzzy* possibilita dar forma matemática às expressões próprias como da linguagem natural, não diminuindo a eficiência dessas (LAZZAROTTO, 2005).

O reconhecimento do importante papel da incerteza dos modelos matemáticos pelos pesquisadores tornou-se bastante explícito na década de 1960, quando iniciou uma transição da visão tradicional para uma visão moderna da incerteza (KLIR; YUAN, 1995). Surgiram várias novas teorias de incerteza distintas da teoria da probabilidade e dentre elas se destaca a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* a qual foi apresentada, em 1965, por Lotfi A. Zadeh, que desenvolveu e introduziu essa teoria durante seus trabalhos com problemas de classificação de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas, isto é, a transição entre os conjuntos é gradual e não abrupta (KLIR; YUAN, 1995, ORTEGA, 2001). Esta teoria apresenta conjuntos com limites que não são precisos e que resultam não em uma questão de afirmação ou negação, mas sim de grau (KLIR; YUAN, 1995).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* pode ser considerada como uma generalização da teoria dos conjuntos clássica. Um conjunto *fuzzy* é definido em termos de sua função de pertinência e na teoria clássica dos conjuntos, a função de pertinência de um conjunto é um (1) dentro dos limites do conjunto e é zero (0) fora (DAHIYA *et al.*, 2007). Uma vantagem clara que o modelo da lógica *fuzzy* tem sobre o modelo lógico clássico, é a possibilidade de aproximar os fenômenos considerando a imprecisão, o que contraria o foco binário, que necessita de um elevado grau de precisão que leva em conta que as interpretações são sempre

duplas, já o modelo da lógica *fuzzy* possibilita o conceito de verdade parcial (ZADEH, 1965).

Basicamente, a lógica *fuzzy* é uma lógica precisa de imprecisão e raciocínio aproximado. Mais especificamente, a lógica *fuzzy* pode ser vista como uma tentativa de formalização/mecanização de duas notáveis capacidades humanas. Primeira, a capacidade de conversar, raciocinar e tomar decisões racionais em um ambiente de imprecisão, a incerteza, incompletude de informações, informações conflitantes, parcialidade da verdade e parcialidade da possibilidade, resumindo num ambiente de informação imperfeita. Segunda, a capacidade para realizar uma grande variedade de tarefas físicas e mentais, sem quaisquer medidas e quaisquer cálculos (ZADEH, 2001, 2002). Há muitas situações de conhecimento acerca de fenômenos incompletos ou informações conflitantes e Zadeh (2008), ao comentar sobre as potencialidades da teoria *fuzzy*, destaca a capacidade de aprender e incorporar essas características da realidade, sem perder os aspectos essenciais em relação aos problemas que foram analisados, portanto, uma das propriedades dessa teoria é oferecer focos precisos em ambientes imprecisos.

A lógica *fuzzy* sustenta as formas de raciocínio aproximadas ao invés de exatas, portanto, a modelagem e controle *fuzzy* de sistemas é utilizada como técnica para o tratamento de informações qualitativas de um modo preciso. Esta lógica fundamenta a base para desenvolver métodos e algoritmos de modelagem e controle de processos, propiciando a redução da complexidade e a solução para problemas inviáveis pelas técnicas clássicas (GOMIDE; GUDWIN, 1994). Ela conduz para a manipulação de conceitos mal definidos que utilizam variáveis linguísticas ao invés das numéricas. A introdução desta lógica possibilita ao modelo a utilização simultânea de variáveis qualitativas e quantitativas, tendo a capacidade de gerar resultados quantitativos a partir de dados qualitativos e quanto maior a complexidade de um sistema, maior será a eficiência de um sistema em lógica *fuzzy*, em comparação de outros métodos que não podem ser modelados a partir de informações imprecisas ou ambíguas (PORTO; COSENZA, 1997, TOLEDO; COSENZA, 2003).

Com o uso dessa lógica, podem-se realizar operações com palavras, onde

os conjuntos *fuzzy* são os valores das palavras, por exemplo, “cloreto de mercúrio é muito tóxico” ou “dicromato de sódio está com periculosidade alta”, permitindo assim, que a incerteza, em relação a uma afirmação, seja expressa por um número e não por uma probabilidade, expressando que a possibilidade de afirmação pode estar correta. O exemplo que “dicromato de sódio está com periculosidade alta”, expressa a possibilidade do dicromato de sódio remeter ou não ao conjunto de valores altos (LAZZAROTTO, 2005). A idéia da lógica *fuzzy* é de se evitar dicotomias contraditórias que tem a possibilidade de ocorrer quando a pertinência é expressa somente como sendo completamente verdadeiro ou totalmente falso (MEIRELLES, 1997).

2.7.2.1 Conjuntos *Fuzzy*

Na teoria de conjuntos clássica, a relação entre um elemento e um conjunto fica bem definida, isto é, dado um conjunto A em um universo X, os elementos (x) deste universo pertencem ou não àquele conjunto, podendo ser expressos pela função característica f_A , conforme demonstra a expressão (GOMIDE; GUDWIN, 1994):

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

Normalmente, a generalização desta ideia é utilizada para manipulação de dados com erros limitados. Com isso, foi proposta, por Zadeh, uma caracterização mais ampla, sugerindo que alguns elementos são mais membros de um conjunto do que outros, generalizando a função característica de uma forma que ela poderia assumir um número infinito de valores no intervalo [0,1] (GOMIDE; GUDWIN, 1994). Zadeh define um conjunto *fuzzy* como sendo uma classe de objetos com graus de pertinência contínua, ou seja, o conjunto é caracterizado por uma função de pertinência (característica), que atribui a cada objeto um grau de

pertinência que varia entre zero e um (ZADEH, 1965). O valor zero (0) representa a completa exclusão e o valor um (1) a completa pertinência (associação), onde esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica (GOMIDE; GUDWIN, 1994). A função de pertinência é uma curva arbitrária, cuja forma é definida por conveniência (RAMAN; BOUWMEESTER; MOHAN, 2009).

Um conjunto *fuzzy* A em um universo X é definido por uma função de pertinência e representado por um conjunto de pares ordenados, apresentando a seguinte notação (ZADEH, 1965):

$$\mu_A(x): X \rightarrow A: [0,1] \quad (2.2)$$

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \rightarrow x \in X \quad (2.3)$$

onde $X = (x)$ é o universo de atributos, $\mu_A(x)$ é conhecido como grau de pertinência de x em A , isto é, o quanto x é compatível com o conjunto A , cujo seu valor é um número pertencente ao intervalo $[0,1]$.

Para ser considerado um conjunto *fuzzy* a função de pertinência $\mu_A(x)$ tem de satisfazer determinados requisitos (DAHIYA *et al.*, 2007):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \text{ é membro de } A \\ y, y \in (0,1) & x \text{ é parcialmente membro de } A \\ 0 & x \text{ não é membro de } A \end{cases} \quad (2.4)$$

Os graus de pertinência de x em A , demonstram uma espécie de ordem baseadas na possibilidade e não na probabilidade (MEIRELLES, 1997). A incerteza de um elemento, ou seja, seu grau fracionário de pertinência pode resultar em uma medida de possibilidade, isto é, a possibilidade de um elemento ser membro de um conjunto, já a probabilidade demonstra a chance de um elemento ser membro de um conjunto podendo ser expresso também num intervalo de $[0,1]$. Para explicar a diferença entre a probabilidade e possibilidade segue o exemplo:

De acordo com o relatório de meteorologia, a chance de chuva amanhã é de 0,8. Essa é uma expressão sobre a probabilidade de chuva. Porém, a probabilidade não indica o grau, qualidade, ou a força da chuva de amanhã.

Ao se usar o conceito de possibilidade para a chuva, deve-se primeiramente construir uma escala de possibilidades como segue: 1,0 = TEMPESTADE; 0,8 = CHUVA FORTE; 0,6 = CHUVAS INTERMINENTES; 0,4 = GAROA; 0,2 = GAROA FINA. Assim, se a possibilidade de chuva amanhã for 0,4, haverá uma GAROA. Além de ser uma medida de possibilidade de 0,4, a expressão linguística GAROA também representa o valor de pertinência do elemento, ou seja, a força chuva de amanhã no conjunto CHUVA (SIMÕES; SHAW, 1999, p. 21).

Os conjuntos *fuzzy* podem ser contínuos ou discretos e normalmente são representados pelas seguintes notações (MEIRELLES, 1997):

$$A = \int X \mu_A(x) / x \quad (2.5)$$

quando o universo X for contínuo ou

$$A = \sum \mu_{A_j}(x) / x_j \quad (2.6)$$

ou seja:

$$A = \mu_{A_1}(x) / x_1 + \mu_{A_2}(x) / x_2 + \dots + \mu_{A_n}(x) / x_n \quad (2.7)$$

quando o universo X for discreto ou um conjunto contável de n elementos.

Os símbolos / e + devem ter a interpretação de *com respeito a* e *de união*, respectivamente e os símbolos \int e \sum não devem ser confundidos com integral e soma algébrica, eles representam a união dos graus de pertinência.

2.7.2.2 Variáveis linguísticas

A computação, em seu sentido usual, é centrada na manipulação de números e símbolos. Em contraste, a computação com as palavras é uma metodologia na qual os objetos de computação são palavras e proposições de linguagem natural, por exemplo, pequeno, grande, muito, pesado, não é muito provável, o preço do arroz é baixo e em declínio, Curitiba é perto de Paranaguá, que é muito pouco provável que haja um aumento significativo no preço da gasolina no futuro próximo, a qualidade do equipamento é razoável, etc. Computação com palavras é inspirado na notável capacidade que o cérebro tem, como habilidade crucial, para manipular as percepções tais como distância, tamanho, peso, cor, velocidade, tempo, direção, força, número, verdade, probabilidade e outras características de objetos físicos e mentais. Manipulação de percepções desempenha um papel fundamental no reconhecimento humano, de decisão e execução de processos. Como metodologia, a computação com palavras fornece uma base para uma teoria computacional de percepção, que pode ter uma importante influência sobre a forma de como os seres humanos tomam e como as máquinas podem tomar decisões racionais baseadas na percepção, num ambiente de imprecisão, incerteza e verdade parcial (ZADEH, 2008).

Uma variável linguística é definida como uma variável cujos valores não são números, mas palavras ou frases em linguagem natural ou artificial. O conceito de uma variável linguística aparece como um meio útil para proporcionar a caracterização aproximada de fenômenos que são muito complexos ou mal definidos, possibilitando ser descrita nos termos quantitativos convencionais (ZADEH, 1975).

As variáveis linguísticas fazem parte do vocabulário da lógica *fuzzy* que conduzem toda a incerteza contida na expressão oral e no pensamento humano para sistemas de decisão que priorizam o padrão, considerando determinada metodologia no decorrer do cálculo computacional envolvido. Esta notável

característica da lógica *fuzzy* só é possível devido à consideração de parcelas de informações relacionadas não as incertezas estocásticas e sim as incertezas léxicas que estão presentes em qualquer problema analisado que abrange variáveis linguísticas (ALTROCK, 1996). A incerteza estocástica contém uma ideia de que uma determinada variável condiz precisamente o grau de probabilidade da informação nela contida como sendo efetivamente verdadeira ou falsa. Já a incerteza léxica, presente na linguagem e no pensamento humano, procura sentenças que podem descrever contextos muitos difíceis para os modelos booleanos, mediante de abstrações e analogias, com resultados fundamentados na possibilidade e não na probabilidade (JANÉ, 2004).

O valor expresso por uma variável linguística *fuzzy* ocorre qualitativamente com uso de um termo linguístico e quantitativamente por uma função de pertinência. O termo linguístico proporciona os níveis de atributos da variável, por exemplo, “Extremamente Perigoso”, “Muito Perigoso”, “Perigoso”, “Pouco Perigoso” e “Quase Perigoso” para a variável de “Grau de Periculosidade” (ORTEGA, 2001). Segundo Simões e Shaw, (1999, p. 24), “Uma variável linguística u no universo de discurso U é definida em um conjunto de termos (ou terminologia), nomes ou rótulos, $T(u)$, com cada valor sendo um número *fuzzy* definido em U ”. Por exemplo, se considerar u como temperatura seu conjunto de termos, $T(u)$ pode assumir valores como: baixa, média e alta, sobre um universo de discurso U . Como as variáveis linguísticas são expressas dentro de um determinado domínio, ou seja, de um universo de discurso, geralmente é o especialista que estabelece esse domínio e elabora sua partição *fuzzy*, com isso, ele desempenha um importante papel na modelagem *fuzzy* (ORTEGA, 2001).

2.7.2.3 Definições e operações

As operações padrão dos conjuntos *fuzzy* controlam a essência da lógica *fuzzy* (RAMAN; BOUWMEESTER; MOHAN, 2009). Os conjuntos *fuzzy* envolvem

diversas definições e operações que são extensões óbvias das definições correspondentes para conjuntos comuns (ZADEH, 1965). São apresentadas aqui as mais relevantes para a abordagem inicial do assunto.

Definição de conjunto *fuzzy* vazio: Um conjunto *fuzzy* é vazio se e somente se sua função de pertinência é igual a zero para todo U, ou seja, um conjunto *fuzzy* A em um universo de discurso U é vazio se a função de pertinência do elemento $x \in U$ do conjunto A, $\mu_A(x)$ for zero, representada pela seguinte notação (ZADEH, 1965):

$$A = \emptyset \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0, \forall x \in U \quad (2.8)$$

onde \emptyset é notação de vazio e \Leftrightarrow de equivalência.

Definição de conjuntos *fuzzy* iguais: Dois conjuntos *fuzzy* A e B em um universo de discurso U são iguais se e somente se suas funções de pertinência do elemento $x \in U$ para os conjuntos A e B, $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, respectivamente, forem iguais para todo U, representada pela seguinte notação:

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in U \quad (2.9)$$

onde = é notação de igual e \Leftrightarrow de equivalência.

Definição de subconjunto *fuzzy*: Um conjunto *fuzzy* A é um subconjunto de B se e somente se sua função de pertinência, $\mu_A(x)$, for menor ou igual à função de pertinência de B, $\mu_B(x)$, para todo U, representada pela seguinte notação:

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in U \quad (2.10)$$

onde \subset é notação de subconjunto e \Leftrightarrow de equivalência.

Há diversos operadores na lógica *fuzzy* para executar as operações lógicas que são divididas principalmente em duas normas: as normas triangulares (normas-T) e as normas duais (normas-S ou co-normas-T) (SIMÕES; SHAW, 1999). A norma-T, a co-norma-T e as funções negação são usadas para calcular os valores de pertinência de intersecção, união e complemento dos conjuntos *fuzzy*, respectivamente (GUPTA; QI, 1991).

Definição de norma-T: Seja $*$: $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ tal que, $\forall x, y, z, w \in [0,1]$, ou seja, define-se norma-T como um operador, denotado por $*$, se e somente se $x, y, z, e w \in [0,1]$, que satisfaz as seguintes propriedades (KLEMENT, 1982, GUPTA; QI, 1991):

$$\text{Comutatividade: } x * y = y * x \quad (2.11)$$

$$\text{Monotonicidade: se } x \leq y, w \leq z, \text{ então } x * w \leq y * z \quad (2.12)$$

$$\text{Associatividade: } (x * y) * z = x * (y * z) \quad (2.13)$$

$$\text{Condições de contorno: } x * 0 = 0 \text{ e } x * 1 = x \quad (2.14)$$

Definição de co-norma-T ou norma-S: Seja \oplus : $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ tal que, $\forall x, y, z, w \in [0,1]$, ou seja, define-se norma-S como um operador, denotado por \oplus , se e somente se $x, y, z, e w \in [0,1]$, que satisfaz as seguintes propriedades (KLEMENT, 1982, GUPTA; QI, 1991):

$$\text{Comutatividade: } x \oplus y = y \oplus x \quad (2.15)$$

$$\text{Monotonicidade: se } x \leq y, w \leq z, \text{ então } x \oplus w \leq y \oplus z \quad (2.16)$$

$$\text{Associatividade: } (x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z) \quad (2.17)$$

$$\text{Condições de contorno: } x \oplus 0 = x \text{ e } x \oplus 1 = 1 \quad (2.18)$$

Definição de função de negação: Seja $\eta: [0,1] \rightarrow [0,1]$ tal que, $\forall x \text{ e } y \in [0,1]$, ou seja, define-se uma função negação como um operador, denotado por η , se e somente se (GUPTA; QI, 1991):

$$\text{Condições de contorno: } \eta(0)=1 \text{ e } \eta(1)=0 \quad (2.19)$$

$$\text{Monotonicidade: } \eta(x) \leq \eta(y), \text{ se } x \geq y \quad (2.20)$$

$$\text{Involução: } \eta(\eta(x)) = x \quad (2.21)$$

As normas-T podem ser exemplificadas com a inclusão do mínimo (\wedge) e o produto algébrico (\cdot). Para as normas-S podem ser usados exemplos como o máximo (\vee) e a soma limitada (\oplus) (PEDRYCZ, 1989). A bibliografia aponta diversas normas-T e co-normas-T, mas de acordo com Ortega (2001, p. 23), “O par de operadores mais amplamente utilizado nas técnicas *fuzzy* são o operador **min** (mínimo) para a conjunção e **max** (máximo) para a disjunção *fuzzy*”, ou seja, são utilizados os operadores **min** para intersecção (\cap) e o operador **max** para a união.

Definição de Intersecção de conjuntos *fuzzy*: Sejam A e B conjuntos *fuzzy* em um universo de discurso U e sejam $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ funções de pertinência do elemento $x \in U$ dos conjuntos A e B, respectivamente, a intersecção entre os conjuntos A e B, denotada por $(A \cap B)$, é definida por (CHANG, 1968, MIZUMOTO; TANAKA, 1981):

$$A \cap B = \{x \in U \mid x \in A \wedge x \in B\} \text{ e } \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad (2.22)$$

onde * denota a norma-T, usualmente associada ao operador de mínimo:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) * \mu_B(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.23)$$

A intersecção $A \cap B$ é o maior subconjunto do universo de discurso U e, ao mesmo tempo, é parte de A e também parte de B . A parte comum dos conjuntos A e B é a intersecção e o resultado é sempre menor que qualquer um dos conjuntos individuais A e B , se um dos dois conjuntos não for vazio (SIMÕES; SHAW, 1999).

A seguir, são alguns exemplos de operadores de intersecção *fuzzy* comuns, com seus nomes habituais. Cada uma definida para $x, y \in [0,1]$ (YAGER, 1991, DEMICCO; KLIR, 2004).

$$\text{Intersecção: } x * y = \min(x, y) \quad (2.24)$$

$$\text{Produto probabilístico: } x * y = x \cdot y \quad (2.25)$$

$$\text{Produto limitado: } x * y = \max(x + y - 1, 0) \quad (2.26)$$

$$\text{Produto drástico: } x * y = \begin{cases} x & \text{se } y = 1 \\ y & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{se } x, y < 1 \end{cases} \quad (2.27)$$

Definição de União de conjuntos *fuzzy*: Sejam A e B conjuntos *fuzzy* em um universo de discurso U e sejam $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ funções de pertinência do elemento $x \in U$ dos conjuntos A e B , respectivamente, a união entre os conjuntos A e B , denotada por $(A \cup B)$, é definida por (CHANG, 1968, MIZUMOTO; TANAKA, 1981):

$$A \cup B = \{x \in U \mid x \in A \vee x \in B\} \text{ e } \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \oplus \mu_B(x) \quad (2.28)$$

onde \oplus denota a norma-S, usualmente associada ao operador de máximo:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \oplus \mu_B(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.29)$$

A união $A \cup B$ é o menor subconjunto do universo de discurso U , que inclui ambos os conjuntos *fuzzy* A e B . O contorno que inclui os conjuntos A e B é a união, com isso é sempre maior que qualquer um dos conjuntos individuais A e B ,

se um dos dois conjuntos não for vazio (SIMÕES; SHAW, 1999).

Algumas operações de uniões *fuzzy* comuns, cada uma definida para $x, y \in [0,1]$, são exemplificadas a seguir (YAGER, 1991, DEMICCO; KLIR, 2004).

$$\text{União: } x \oplus y = \max(x, y) \quad (2.30)$$

$$\text{Soma probabilística: } x \oplus y = x + y - xy \quad (2.31)$$

$$\text{Soma limitada: } x \oplus y = \min(x + y, 1) \quad (2.32)$$

$$\text{Soma drástica: } x * y = \begin{cases} x & \text{se } y = 0 \\ y & \text{se } x = 0 \\ 1 & \text{se } x, y > 0 \end{cases} \quad (2.33)$$

Definição de complemento de conjuntos *fuzzy*: O complemento obtido para $U = 1$ é chamado de complemento *fuzzy* padrão e é o complemento mais comum em aplicações da teoria dos conjuntos *fuzzy* (DEMICCO; KLIR, 2004). Seja $N(U) = [0,1]$, denotado o conjunto de todos os conjuntos *fuzzy* num universo de discurso U , o complemento de um conjunto A em relação a U , denotado $\neg A$, é descrito pela função de negação η ($\eta(x) = 1 - x$) para todo $x \in [0,1]$, onde esta função em $N(U)$ é definida por (OVCHINNIKOV, 1983):

$$\neg A(x) = \eta(A(x)), \forall x \in U \quad (2.34)$$

A definição para a função de negação dos conjuntos *fuzzy* quando $U=1$ é (YAGER, 1991):

$$\neg A(x) = 1 - A(x) \quad (2.35)$$

O vetor de pertinência do complemento é calculado da seguinte forma (ZADEH, 1965):

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.36)$$

A intersecção do conjunto A e seu complemento $\neg A$ não é o conjunto vazio, portanto, eles são, em geral, não disjuntos, ou seja, eles possuem uma intersecção finita $A \cap \neg A$, porque A e $\neg A$ possuem uma parte em comum (SIMÕES; SHAW, 1999) Esta regra pode ser representada pela seguinte notação (MIZUMOTO; TANAKA, 1981):

$$A \cap \neg A \neq \emptyset, \text{ ou seja, } \mu_A \cdot (\mu_{\neg A}) \neq 0 \quad (2.37)$$

Na união, o conjunto A e seu complemento $\neg A$ não preenchem completamente o universo de discurso U , isto é, há uma parcela que não pode ser incluída, então, a união de um conjunto *fuzzy* e seu complemento não é igual ao universo de discurso (SIMÕES; SHAW, 1999). Esta regra pode ser representada pela seguinte notação (MIZUMOTO; TANAKA, 1981):

$$A \cup \neg A \neq U, \text{ ou seja, } \mu_A + (\mu_{\neg A}) \neq 1 \quad (2.38)$$

As operações de complemento *fuzzy* são descritas acima, juntamente com a definição de função de negação.

2.7.2.4 Estrutura do Sistema Lógico *Fuzzy*

A estrutura do sistema *fuzzy* é apresentada na Figura 1 com ênfase em três operações básicas: fuzificação, inferência *fuzzy* e defuzificação.

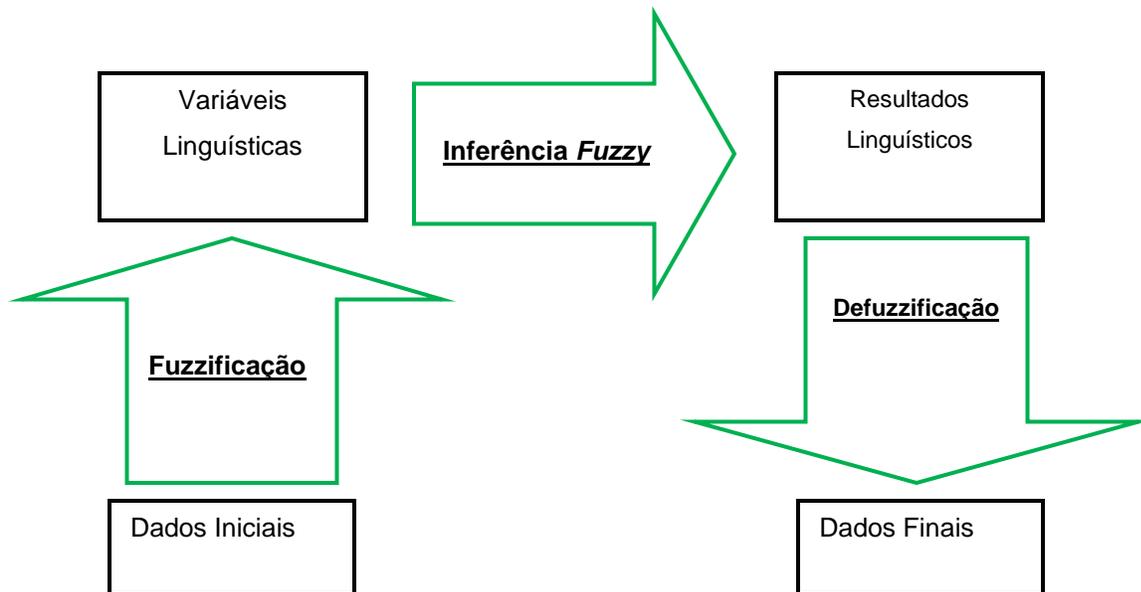


FIGURA 1 - SISTEMA LÓGICO FUZZY
 FONTE: Adaptado de COX (1995)

Os dados iniciais, na forma de números não *fuzzy*, são inseridos no primeiro processo do sistema e são utilizados na etapa de fuzzificação, onde estes números são transformados em conjuntos *fuzzy*, ou seja, em suas respectivas variáveis linguísticas. Então ocorre a ativação das regras *fuzzy*, fornecidas na forma de Se/Então, que são executadas no processo de inferência, onde estas regras são combinadas obtendo-se o conjunto fuzzy de saída ou resultados linguísticos que deverão ser interpretados na etapa de defuzzificação e que resultará nos dados finais.

2.7.2.5 Regras *Fuzzy*

As regras *fuzzy* podem ser compreendidas de diversas maneiras, elas são estruturas utilizadas em diversos métodos da teoria *fuzzy*. Conceitualmente, as regras *fuzzy* são regras normais aplicadas para operar, de uma forma correta, os conjuntos *fuzzy*, com o objetivo de obter consequentes, ou seja, são utilizadas

para descrever situações específicas que podem ser sujeitas a análise críticas de especialistas e sua inferência acarreta ao resultado esperado. Como a regra *fuzzy* tem a capacidade de capturar algum conhecimento específico, um conjunto de regras *fuzzy* é capaz de expor um sistema em suas várias possibilidades. Para a criação de tais regras é necessário um raciocínio coerente em relação ao que se pretende manusear e obter, com isso, este raciocínio deve avaliar o antecedente da regra e aplicar o resultado no conseqüente. Portanto, cada regra *fuzzy* contém uma parte antecedente “Se” e outra conseqüente “Então” (LAZZAROTTO, 2005).

Para o desenvolvimento do sistema de inferência *fuzzy* é definida uma base de regras para representar o conhecimento de especialistas, na qual as condições são dadas por um conjunto de termos linguísticos associados às variáveis de saída/entrada do processo e obtém conclusões a partir das variáveis de entrada. Estas regras são extremamente importantes no desempenho do sistema (CAMBOIM; SILVA; GOMES, 2014).

A regra de inferência *fuzzy* é generalização do *modus ponens* clássico que considera a primeira premissa de um argumento um condicional, isto é, se a segunda premissa afirma que o antecedente é verdadeiro, então o conseqüente também é verdadeiro (GUPTA; QI, 1991). A principal diferença na abordagem da implicação confirmação é que esta é combinada pela composição da restrição dos valores verdade *fuzzy* com a relação implicação no espaço verdade *fuzzy* (BALDWIN, 1979). Portanto, *modus ponens* generalizado reduz a *modus ponens* clássico para $A' = A$ e $B' = B$ e é expresso da seguinte forma (GUPTA; QI, 1991):

$$\begin{array}{ll}
 \text{Premissa:} & x \text{ é } A' \\
 \text{Implicação:} & \text{se } x \text{ é } A \text{ então } y \text{ é } B \\
 \hline
 \text{Conseqüência:} & y \text{ é } B'
 \end{array} \tag{2.39}$$

onde A' é a condição controle e B' é a ação controle.

O benefício de ter antecedentes *fuzzy* é o de fornecer uma base para um mecanismo de interpolação. Nesta representação, uma regra *fuzzy* é definida por meio de um conjunto (para a definição de um produto cartesiano *fuzzy* $A \times B$), ao

invés de nos termos de implicação lógica multivalente. Utilizando o operador implicação, a regra *fuzzy* apresenta a notação $A \rightarrow B$ (DUBOIS; PRADE, 1996).

As regras *fuzzy* Se/Então são regras cujos antecedentes e consequentes ou ambos são *fuzzy*, em vez de clássicos. A interpretação de uma regra *fuzzy* considera "Se x é A então y é B " como um ponto *fuzzy* $A \times B$ e um conjunto de regras *fuzzy* "Se x é A_i então y é B_i ", $i = 1, \dots, n$ como um gráfico *fuzzy* fornecendo uma descrição aproximada da relação entre x e y (ZADEH, 1996).

Um gráfico *fuzzy*, representado por f^* , de uma dependência funcional $f: x \rightarrow y$, serve para fornecer uma aproximação, reduzindo a representação de f na forma (ZADEH, 1994):

$$f^* = A_1 \times B_1 + A_2 \times B_2 + \dots + A_n \times B_n \quad (2.40)$$

ou de forma mais compacta:

$$f^* = \sum_{i=1}^n A_i \times B_i \quad (2.41)$$

onde x e y são variáveis linguísticas; A_i e B_i , $i = 1, \dots, n$, são conjuntos *fuzzy* nos universos de discurso X e Y , respectivamente; $A_i \times B_i$ é o produto cartesiano A_i em B_i ; $+$ é o operador da disjunção, que é comumente usado para a união. Alternativamente, o gráfico *fuzzy* pode ser representado por um conjunto de regras *fuzzy*, como a seguir (GUPTA; QI, 1991):

$$\sum_{i=1}^n \text{Se } x \text{ é } A_i \text{ então } y \text{ é } B_i \quad (2.42)$$

Para expressar nos termos da função de pertinência de f^* , A_i e B_i , tem-se (ZADEH, 1994):

$$\mu_{f^*(x,y)} = \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y), \forall x \in X, y \in Y \quad (2.43)$$

onde $\wedge = \min$ é o operador da conjunção, usado para a intersecção.

No sistema *fuzzy*, cada regra *fuzzy* é representada por uma relação *fuzzy* e é o conjunto dessas associadas às regras que caracteriza o comportamento do sistema. O sistema será representado como um todo em uma única relação *fuzzy*, que é uma combinação de todas as relações *fuzzy* oriundas das diversas regras. Esta combinação envolve um operador de agregação de regras, sendo o mais utilizado o operador de união, que utiliza a operação \max (GOMIDE; GUDWIN, 1994). Portanto, se a relação *fuzzy* entre A_i e B_i é representada por $R_{A_i \rightarrow B_i}$, no universo de discurso $X \times Y$, então a sua função de pertinência é dada em termos de normas T , expressa a seguir, como uma forma alternativa da função gráfico *fuzzy* (GUPTA; QI, 1991):

$$\mu_{R_{A_i \rightarrow B_i}}(x, y) = \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)); x \in X, y \in Y \quad (2.44)$$

onde \min é o operador de implicação.

Dada uma condição controle x é A' e uma regra $A \rightarrow B$, a regra de inferência composicional diz que (GUPTA; QI, 1991):

$$B' = A' \circ R,$$

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \{\min(\mu_{A'}(x), \mu_{R_{A \rightarrow B}}(x, y))\} \quad (2.45)$$

onde \circ é a composição sup-min, que é o menor limite superior de um conjunto e não necessariamente pertencente a este conjunto.

2.7.2.6 Fuzzificação

A fuzzificação é um processo de conversão de um conjunto em um sistema *fuzzy*. O processo de conversão é realizado pelo sistema de inferência *fuzzy* e envolve a eliminação do grau de indecisão (SEBASTIAN; PHILIP, 2014). Este processo define as entradas e saídas, bem como suas respectivas funções de pertinência, transformando o valor não *fuzzy* de uma variável em um grau de adesão por termos linguísticos de um conjunto *fuzzy*, que explica uma característica das variáveis. Depois das entradas fuzzificadas, o grau em cada parte do antecedente é satisfeita por cada regra. Se o antecedente de uma determinada regra tem mais de uma parte, o operador *fuzzy* é aplicado para obter um número que representa o resultado do antecedente dessa regra. Então este número é aplicado para a função saída. A saída é um único valor verdade. A entrada para o processo de implicação é um único número dado pelo antecedente e a saída é um conjunto *fuzzy* (RAMAN; BOUWMEESTER; MOHAN, 2009).

Em outras palavras, é a etapa do sistema *fuzzy* que representa a transformação dos dados de entradas iniciais em suas, respectivas, variáveis linguísticas. Nesta fase, devem ser consideradas todas as informações referentes à imprecisão ou incerteza agregadas a estas variáveis (JANÉ, 2004). Esta etapa captura os valores das variáveis de entrada, executa um escalonamento para ajustar os valores aos universos de discurso normalizados e fuzzifica os valores, onde transforma números em conjuntos *fuzzy*, de uma forma que se torne próxima de variáveis linguísticas (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

É importante destacar, que como as decisões são baseadas na análise de todas as regras no sistema de inferência *fuzzy*, estas regras devem ser combinadas de uma maneira que resulte em uma decisão coesa (RAMAN; BOUWMEESTER; MOHAN, 2009).

Nesta operação, é possível calcular os valores dos vetores de possibilidades pelas equações que representam as funções de pertinência. Alternativamente, uma base de dados tabulados pode ser elaborada e

armazenada no computador para que o programa possa utilizá-la de modo a diminuir o tempo de processamento computacional. Para a aceleração desse processo mediante a tabela, o universo de discurso de cada variável é, em geral, normalizado para um intervalo padrão escolhido para o sistema, então, conhece-se com antecedência a faixa de cada variável. Com isso é possível pré-calcular os valores *fuzzy* correspondentes aos valores não *fuzzy* no mesmo universo de discurso e inserí-los numa tabela discretizada. Dessa forma, ao invés de fuzzificar os valores discretos por meio de cálculo, os valores fuzzificados podem ser consultados na tabela em tempo real e quando necessário pode-se fazer interpolações. Para resultados mais precisos, cada variável deve ser normalizada individualmente dentro de seu próprio universo de discurso (SIMÕES; SHAW, 1999).

2.7.2.7 Sistema de Inferência *Fuzzy*

Inferência *fuzzy* é o processo do mapeamento que determina a transformação de um valor *fuzzy* de entrada para um de saída usando raciocínio lógico *fuzzy* (SOROUSH; MOUSAVI; GHARECHAH, 2011). Trata-se da formalização do processo de raciocínio da linguagem humana realizada pelo Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) por intermédio da construção das regras *fuzzy*, que envolve quatro etapas: fuzzificação, regras de inferência (Se/Então), máquina de inferência e defuzzificação (ZADEH, 1978, NASR; REZAEI; BARMAKI, 2013).

Após a construção do conjunto de regras *fuzzy* é necessária uma “máquina de inferência” para obter a resposta final. O sistema de inferência ou unidade de tomada de decisão executa as operações inferência sobre as regras, de uma maneira em que as regras são combinadas, ou seja, usando o tipo regra *fuzzy* Se/Então, para converter a entrada *fuzzy* para a saída *fuzzy* (NASR; REZAEI; BARMAKI, 2013). Este processo foi implementado pelo Método de Inferência Mamdani (SOROUSH; MOUSAVI; GHARECHAH, 2011). O sistema *fuzzy*

baseado em regras permite misturar números reais e *fuzzy* nas variáveis (SIMÕES; SHAW, 1999).

A forma operacional do modelo linguístico é determinada pelo método de inferência ou máquina de inferência. Há diversos métodos de inferência e a escolha de um deles depende do sistema a ser analisado. Para controle de sistemas, a inferência mais utilizada é a do Método Mamdani. Todas as regras (circunstâncias) são consideradas ao mesmo tempo, isto é, elas são processadas em paralelo, resultando em uma resposta que pode ser tanto um valor numérico clássico, quanto um conjunto *fuzzy*, dependendo do tipo de consequentes utilizados. É muito comum que em controladores *fuzzy* seja necessária a realimentação do sistema, pois às vezes a saída do sistema tem que ser um número, com isso, é necessário um processo de defuzzificação para obter um número representativo do conjunto, no caso da saída do sistema for um conjunto *fuzzy* (ORTEGA, 2001).

Os dois tipos de método de inferência *fuzzy* mais importantes são Mamdani e Takagi-Sugeno. A principal diferença entre os dois métodos reside na consequente de regras *fuzzy*, sendo que do Mamdani o consequente é *fuzzy*, conforme explicado neste item, e o do Takagi-Sugeno a saída não é *fuzzy*, denotada da seguinte maneira (ROUBOS, *et al.*, 1999):

$$\text{Se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B \text{ então } z \text{ é } K, \quad (2.46)$$

onde x e y são variáveis linguísticas; A e B são conjuntos *fuzzy*; e K é uma constante. A regra desse modelo tem a seguinte notação:

$$R_i = \text{Se } x \text{ é } A_i \text{ então } y_i = a_i^T x + b_i, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (2.47)$$

2.7.2.8 Defuzzificação

No processo de defuzzificação, o valor da variável linguística compreendida

pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor não *fuzzy* (SILVER, 2000). A defuzzificação tem o objetivo de obter um único valor numérico não *fuzzy* que melhor represente os valores *fuzzy* compreendidos da variável linguística de saída, isto é, a distribuição de possibilidades (SOROUSH; MOUSAVI; GHARECHAHI, 2011). Trata-se de uma transformação inversa que traduz a saída do domínio *fuzzy* para o domínio não *fuzzy*. Existem muitas técnicas de defuzzificação que são utilizadas num enfoque com base no centroide ou nos valores máximos que ocorrem da função de pertinência resultante. Dentre as mais utilizadas estão a Centro-da-Área, Centro-do-Máximo e Média-do-Máximo (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

A técnica do Centro-da-Área considera toda a distribuição de possibilidade de saída do modelo para calcular o valor clássico representativo. O procedimento é semelhante ao utilizado para calcular o centro de gravidade na física, caso seja considerada a função de pertinência $\mu_A(x)$ como a densidade de massa de x . Esse método pode ser entendido como uma média ponderada, onde $\mu_A(x)$ funciona como o peso do valor x (CARBAJAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2012). Essa técnica é utilizada pelo método Mamdani. Se x é discreto, então a defuzzificação da conclusão *fuzzy* A é dada por:

$$y_0 = \frac{\sum_x \mu_A(x) \cdot x}{\sum_x \mu_A(x)} \quad (2.48)$$

Da mesma maneira se x é contínuo, então:

$$y_0 = \frac{\int_x \mu_A(x) x dx}{\int_x \mu_A(x) dx} \quad (2.49)$$

Este método apresenta uma desvantagem que é o custo computacional, principalmente quando o x é contínuo (ORTEGA, 2001). Esta desvantagem é devido à necessidade de calcular constantemente por integração numérica as

áreas analisadas, fazendo com que o esforço computacional para o cálculo seja mais elevado (JANÉ, 2004).

No método Centro-do-Máximo, deve-se selecionar o ponto onde a função inferida tem seu máximo, ou seja, os valores máximos assumidos pela variável (GOMIDE; GUDWIN, 1994). No próximo passo deve-se atribuir pesos proporcionais aos graus de pertinência da variável resultante do processo de inferência *fuzzy*, então, a saída discreta é calculada como uma média ponderada dos máximos (JANÉ, 2004, SIMÕES; SHAW, 1999). A simplificação do cálculo do valor clássico representativo reduz o custo computacional (ORTEGA, 2001). Essa técnica é utilizada pelo Método Takagi-Sugeno.

A Média-do-Máximo representa o valor médio dentre todos os pontos de máximo quando há mais de um máximo, ou seja, proporciona o ponto médio do intervalo que possui o máximo grau de possibilidade (GOMIDE; GUDWIN, 1994, LAZZAROTTO, 2005). A desvantagem deste método é que pode fornecer um resultado contra-intuitivo, pois não considera a forma total do conjunto *fuzzy* (LAZZAROTTO, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A classificação dos resíduos perigosos da UFPR foi desenvolvida inicialmente pelo levantamento quantitativo dos resíduos perigosos gerados na Universidade para então serem selecionados os resíduos de interesse ao estudo.

O levantamento qualitativo dos resíduos selecionados foi referente ao estudo do índice de periculosidade, propriedades físico-químicas e normas e parâmetros de classificação de resíduos perigosos, por intermédio de pesquisas na literatura. Após a análise dos dados levantados foram determinadas as variáveis de entrada e de saída pertinentes para a elaboração da estrutura do modelo de classificação, de acordo com a realidade da Universidade.

Estas variáveis foram inseridas no programa e processadas no sistema de inferência *fuzzy*, cujos resultados, as variáveis de saída, apontaram o grau de periculosidade.

Para a classificação dos resíduos perigosos pela lógica *fuzzy* foi utilizado o *fuzzy logic toolbox*, do software MATLAB[®], que permitiu a inserção dos dados das variáveis de entrada e dos termos linguísticos das variáveis de saída, do modelo, no software.

3.1 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERICULOSIDADE

Para determinar o índice de periculosidade desses resíduos foram selecionadas variáveis baseadas nas propriedades físico-químicas que indicam periculosidade, transporte e partição, bem como a toxicidade e a ecotoxicidade dos compostos químicos, em questão, para sua classificação. A quantidade também foi utilizada no modelo por ser fundamental para determinação da periculosidade, pois como uma grande quantidade de um composto químico pode influenciar muito no dano ao meio ambiente e à saúde humana, uma pequena

quantidade, dependendo da periculosidade de um determinado composto, também pode causar grandes danos.

Para garantir a qualidade da pesquisa, as variáveis das substâncias químicas foram pesquisadas de acordo com seu Número CAS para que não ocorram erros, como a troca de uma substância por outra, por apresentarem nomes bastante parecidos. Também foi utilizada a nomenclatura IUPAC com o objetivo de utilizar nomes padronizados internacionalmente.

3.1.1 Definição das variáveis de entrada e saída do sistema fuzzy

A classificação dos valores de cada atributo varia de acordo com o grau de rigor que se pretende considerar na conceituação de periculosidade. Assim, a quantidade de variáveis necessárias para avaliação da periculosidade dos resíduos pode variar de acordo com as necessidades. A classificação dos valores dos atributos deve ser estabelecida de acordo, principalmente, com as necessidades e objetivos do usuário, ou seja, a necessidade de um valor alto para a quantidade, por exemplo, não significa, necessariamente, que deva ser alto para qualquer objetivo apenas porque a variável faz parte do índice de periculosidade.

As variáveis de entrada são os valores que iniciam o processamento. Para o desenvolvimento do modelo foram selecionadas as variáveis de entrada apresentadas no Quadro 2:

VARIÁVEIS DE ENTRADA	EM CONCORDANCIA:
Quantidade – QTDE (Kg ou L)	Verhaar, Leeuwen e Hermes (1992) e Burkhard (2008).
Solubilidade em água – SOL - (g/L a 20°C)	Kruijff (1998), Davies e Dobbs (1984), Baird (2002), EPA (2005) e Froehner e Martins (2008).
Pressão de vapor – PV (hPa a 20°C)	Kruijff (1998), Paraíba, Carrasco e Bru (1999), Baird (2002), EPA (2005) e Gerola <i>et al.</i> (2010).
Ponto de fusão – PF (°C);	Dearden (1991) e EPA (2005).
Coeficiente de partição <i>n-octanol/water</i> - K_{ow} (logPow)	Davies e Dobbs (1984), Paraíba, Carrasco e Bru (1999), Silva e Ferreira (2003), Schüürmann <i>et al.</i> (2007) e Froehner e Martins (2008).
Corrosividade – CO (pH)	EPA (2013a), ABNT (2004), Musee, Lorenzen e Aldrich (2008a) e União Europeia (2008).
Inflamabilidade – IN	EPA (2013a), ABNT (2004), Musee, Lorenzen e Aldrich (2008a) e União Europeia (2008).
Reatividade – RE	EPA (2013a), ABNT (2004), Musee, Lorenzen e Aldrich (2008a) e União Europeia (2008).
Toxicidade oral – TO (DL50 – mg/Kg)	Leblanc e Bain (1997), Walum (1998), EPA (2013a), ABNT (2004), União Europeia (2008), Helfrich <i>et al.</i> (2009) e Spiro e Stigliani (2009).
Toxicidades em peixes – TP (CL50 - mg/L)	Leblanc e Bain (1997), Harmel (2004), Costa <i>et al.</i> (2008), Adams <i>et al.</i> (2009), Helfrich <i>et al.</i> (2009), Bertolletti (2013) e EPA (2014b).
Toxicidade em invertebrados aquáticos – TI (CE50 – mg/L)	Cooney (1995), Leblanc e Bain (1997), Shaw e Chadwick (1998), Costa <i>et al.</i> (2008), Helfrich <i>et al.</i> (2009) e Bertolletti (2013).
Fator de bioconcentração (BCF)	Davies e Dobbs (1984), Verhaar, Leeuwen e Hermes (1992), Adams e Rowland (2002) e Daughton (2004).

QUADRO 2: VARIÁVEIS DE ENTRADA DO SISTEMA FUZZY

As variáveis de saída foram determinadas por termos linguísticos que possibilitaram expressar os graus de periculosidade dos compostos químicos, ou seja, as variáveis linguísticas que classificaram os resíduos perigosos, como: Extremamente Perigoso, Muito Perigoso, Perigoso, Pouco Perigoso e Quase Perigoso.

3.1.2 A lógica *fuzzy* na determinação da periculosidade

Para a determinação do Grau de Periculosidade dos resíduos perigosos a

serem analisados por meio da lógica *fuzzy*, foi elaborada uma estrutura, apresentada na Figura 2, composta por quatro níveis de dados seguindo a ordem de entrada no processamento.

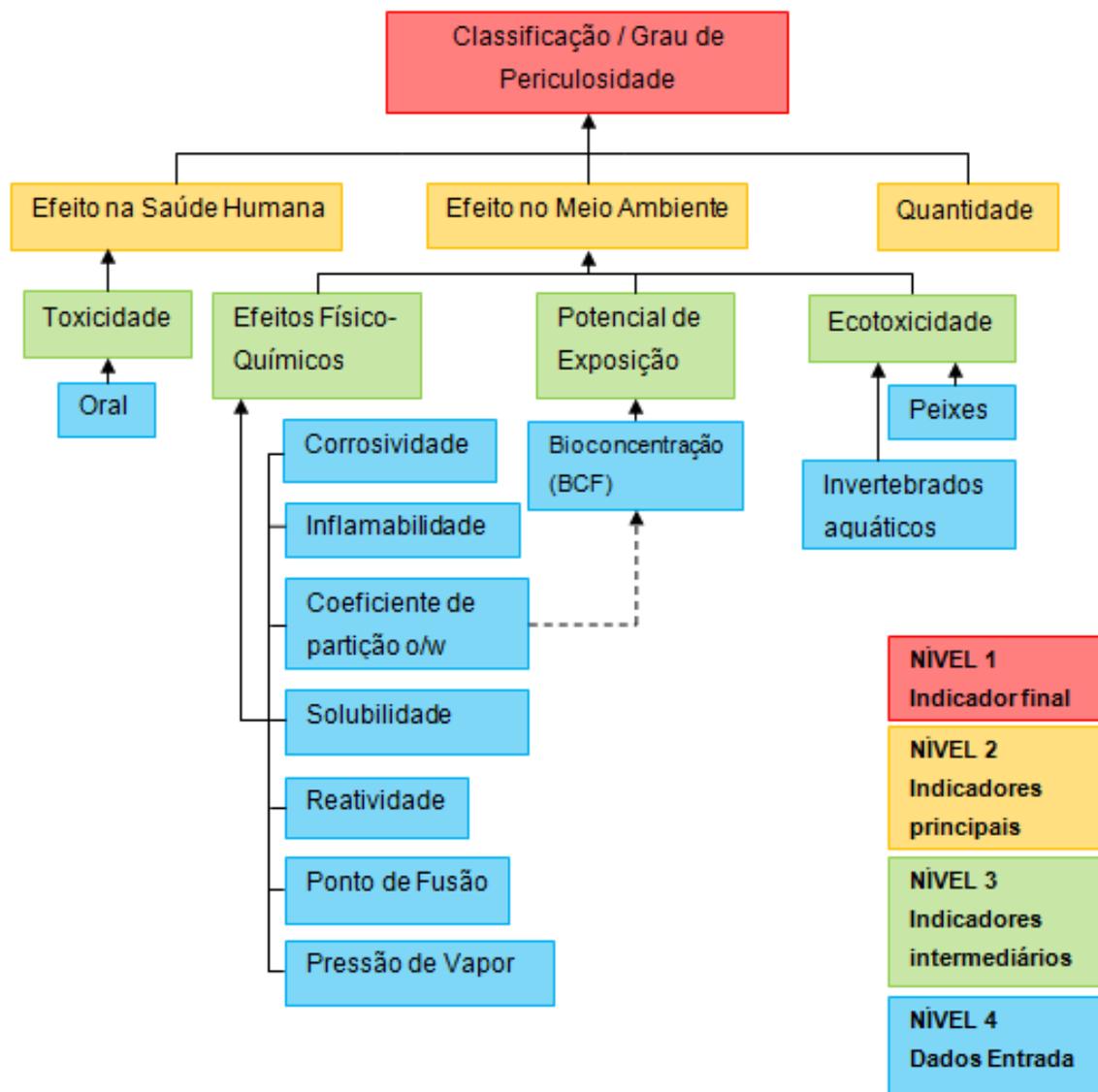


FIGURA 2 – ESTRUTURA PARA DETERMINAR O GRAU DE PERICULOSIDADE

O quarto nível é composto pelos dados de entrada que geram os indicadores intermediários encontrados no terceiro nível (Figura 2). Os indicadores intermediários geram os indicadores principais no segundo nível que resultará no indicador final, no primeiro nível. Portanto, os dados de entrada são parâmetros

dos indicadores intermediários, estes são parâmetros dos indicadores principais e assim sucessivamente. O indicador final, Classificação/Grau de Periculosidade, é determinado pelos três indicadores principais: Efeito na Saúde Humana, Efeito no Meio Ambiente e Quantidade. Porém, a determinação do indicador final não está condicionada necessariamente aos dois indicadores principais, ele é determinado através dos indicadores relevantes aos objetivos do usuário, que poderá ser um deles somente ou mais, dependendo da necessidade de cada caso. Os indicadores principais são determinados pelos indicadores intermediários: Toxicidade, Ecotoxicidade, Efeitos Físico-Químicos, e Potencial de Exposição. Estes são determinados pelos dados de entrada: Oral para Toxicidade; Peixes e Invertebrados aquáticos para a Ecotoxicidade; Ponto de Fusão, Pressão de Vapor, Solubilidade; Coeficiente de partição, Reatividade, Inflamabilidade e Corrosividade para Efeitos Físico-Químicos e Bioacumulação para Potencial de Exposição.

3.2 VARIÁVEIS FUZZY

Para cada variável *fuzzy* foram determinadas suas respectivas partições, variáveis linguísticas e funções de pertinência (Quadro 3).

VARIÁVEIS FUZZY	PARTIÇÕES	VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS	FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA*
Quantidade (QTDE)	(0,01 – 0,100)	Muito Baixa	Trapezoidal
	(>0,100 – 0,600)	Baixa	Trapezoidal
	(>0,600 – 2,100)	Média	Trapezoidal
	(>2,100 – 6,100)	Alta	Trapezoidal
	(>6,100 – 14,000)	Muito Alta	Trapezoidal
	(>14,000 – 540,000)	Extremamente Alta	Função S
Solubilidade (SOL)	(0 – 1)	Insolúvel	Triangular
	(>1 – 3)	Quase insolúvel	Triangular
	(>3 – 10)	Levemente solúvel	Triangular
	(>10 – 100)	Solúvel	Triangular
	(>100 – 4000)	Muito solúvel	Triangular
Pressão de Vapor (PV)	(0 – 10)	Muito Baixa	Triangular
	(>10 – 100)	Baixa	Triangular
	(>100 – 1000)	Média	Triangular

Continua.

VARIÁVEIS FUZZY	PARTIÇÕES	VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS	FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA*
Pressão de Vapor (PV)	(>1000)	Alta	Triangular
Ponto de Fusão (PF)	(-100 – 0)	Muito Baixo	Triangular
	(>0 – 25)	Baixo	Triangular
	(>25 – 200)	Médio	Triangular
	(>200 – 500)	Alto	Triangular
	(>500)	Muito Alto	Triangular
Coefficiente de Partição o/w (Kow)	(-5 – 0)	Baixo	Triangular
	(>0 – 2)	Médio	Triangular
	(>2)	Alto	Triangular
Corrosividade (CO)	(<=2)	Altamente Corrosivo	Triangular
	(>2 – 6)	Corrosivo	Triangular
	(>6 – 8)	Não Corrosivo	Triangular
	(>8 – 12)	Corrosivo	Triangular
	(>=12,5)	Altamente Corrosivo	Triangular
Inflamabilidade (IN)	(1)	Inflamável	Triangular
	(0,3)	Difícilmente Inflamável	Triangular
	(0)	Não Inflamável	Triangular
Reatividade (RE)	(1)	Reativo	Triangular
	(0)	Não Reativo	Triangular
Toxicidade Oral (TO)	(<25)	Muito Tóxico	Triangular
	(>25 – 200)	Tóxico	Triangular
	(>200 – 2000)	Moderadamente tóxico	Triangular
	(>2000)	Pouco tóxico	Triangular
Toxicidade em peixes (TP)	(<0,1)	Extremamente Tóxico	Triangular
	(<1,0)	Altamente Tóxico	Triangular
	(1,0 – 10)	Moderadamente Tóxico	Triangular
	(>10 – 100)	Levemente Tóxico	Triangular
	(>100)	Praticamente não Tóxico	Triangular
Toxicidade em invertebrados (TI)	(<0,1)	Extremamente Tóxico	Triangular
	(<1,0)	Altamente Tóxico	Triangular
	(1,0 – 10)	Moderadamente Tóxico	Triangular
	(>10 – 100)	Levemente Tóxico	Triangular
	(>100)	Praticamente não Tóxico	Triangular
Fator de Bioconcentração (BCF)	(0)	Não Bioacumulável	Triangular
	(>0 – 1)	Muito Pouco Bioacumulável	Triangular
	(>1 – 10)	Pouco Bioacumulável	Triangular
	(>10 – 100)	Moderadamente Bioacumulável	Triangular
	(>100 – 1000)	Altamente Bioacumulável	Triangular
	(>1000)	Extremamente Bioacumulável	Triangular
Potencial de Exposição (PE)	(0 – 0,5)	Baixo	Triangular

Conclusão.

VARIÁVEIS FUZZY	PARTIÇÕES	VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS	FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA*
Potencial de Exposição (PE)	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Efeito Físico-Químico (EFQ)	($0 - 0,5$)	Baixo	Triangular
	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Ecotoxicidade (ECOT)	($0 - 0,5$)	Baixo	Triangular
	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Toxicidade (TOX)	($0 - 0,5$)	Baixo	Triangular
	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Efeito no Meio Ambiente (EMA)	($0 - 0,5$)	Baixo	Triangular
	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Efeito no Meio Ambiente (EMA)	($0 - 0,5$)	Baixo	Triangular
	($>0,5 - 1$)	Médio	Triangular
	(>1)	Alto	Triangular
Grau de Periculosidade (GP)	($0,8 - 1$)	Extremamente Perigoso	Triangular
	($0,6 - 0,8$)	Muito Perigoso	Triangular
	($0,4 - 0,6$)	Perigoso	Triangular
	($0,2 - 0,4$)	Pouco Perigoso	Triangular
	($0 - 0,2$)	Quase Perigoso	Triangular

QUADRO 3 – ESTABELECIMENTO DAS PARTIÇÕES, VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

* ajustada de acordo com a coerência dos resultados.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS REGRAS FUZZY

Devido às inúmeras possibilidades de uso desta ferramenta, a maior preocupação por parte do analista do projeto será a formatação do sistema de uma maneira que garanta a consistência e a confiabilidade dos resultados.

Para criação do sistema de inferência é fundamental um raciocínio lógico por parte do analista, pois é nesta etapa que serão agrupados os quatro níveis, descritos no Item 3.1.2. O nível quatro após processado o sistema de inferência resultará no nível três. Este será processado novamente pelo sistema para resultar o nível dois e assim sucessivamente, que resultará no nível um, Grau de Periculosidade (GP).

Para a determinação das regras *fuzzy* e o agrupamento das variáveis, foram determinados sete conjuntos de regras de inferência que seguiram a lógica (Apêndice 3). As estruturas dos conjuntos estão representadas resumidamente no Quadro 4. Esses sete conjuntos foram processados pelo sistema de inferência Mamdani e apresentaram valores de defuzzificação que resultaram na Classificação/Grau de Periculosidade.

CONJUNTO	VARIÁVEIS DE ENTRADA	VARIÁVEIS DE SAÍDA	NÚMERO DE REGRAS <i>FUZZY</i>
A	Kow BCF	PE	10
B	TP TI	ECOT	11
C	TO	TOX	4
D	PF PV SOL Kow RE IN CO	EFQ	33
E	TOX	ESH	3
F	ECOT EFQ PE	EMA	9
G	ESH EMA QTDE	GP	42

QUADRO 4 – ESQUEMA DOS SETE CONJUNTOS DE REGRAS

Apesar de incorrer em um maior custo computacional, foi escolhido o método Mamdani em vez do método Takagi-Sugeno; neste deve-se atribuir pesos proporcionais aos graus de pertinência da variável que resulta do processo de inferência para então calcular o valor da defuzzificação enquanto que no método Mamdani não há essa necessidade, visto que a função de pertinência funciona como peso a um determinado elemento. O método Takagi-Sugeno é mais adequado quando se conhece bem os valores das variáveis, ou seja, quando é possível determinar com precisão os pesos relativos a cada regra de inferência, de modo a apresentar o resultado mais coerente; caso contrário, o resultado pode ser incoerente, o que levaria a falhas na classificação.

Devido à complexidade da estrutura do modelo de classificação proposta

neste trabalho, por considerar variáveis com valores empíricos, adotou-se o Método Mamdani, pois os valores resultantes de experimentos podem apresentar variações devido à diversidade de métodos e espécies de organismos analisados, o que é um obstáculo à determinação de um valor preciso para a constante de peso.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados quantitativos referentes aos resíduos perigosos da UFPR, no ano de 2011, foram fornecidos pela DGA, na forma de lista (Anexo 1), que após o processo de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos perigosos, por empresa terceirizada contratada, são arquivados pela mesma. Os resíduos que apresentaram maior periculosidade conhecida e maior quantidade foram selecionados da base de dados (Anexo 1) e foram agrupados em metais tóxicos, ácidos orgânicos e ácidos inorgânicos.

O levantamento qualitativo dos resíduos selecionados determinou as variáveis de entrada, assim como a estrutura do modelo de classificação. A disponibilidade de dados na literatura apresentou uma grande influência nesta etapa, pois dados limitados como valores de DL50 cutânea para mamíferos e valores para toxicidade crônica para organismos aquáticos conduziram a estrutura a utilizar apenas a DL50 oral como toxicidade aguda e única variável para avaliar os efeitos na saúde humana e CL50 e CE50, ambas para avaliar a toxicidade em peixes e em invertebrados aquáticos, respectivamente, como variáveis de entrada para a variável de saída Ecotoxicidade. Para os compostos químicos selecionados, dados, como Constante de Henry, e parâmetros para avaliação da persistência nos compartimentos ambientais em específico solo, água e ar, também apresentaram limitações e, portanto, não foram usados como variáveis de entrada da estrutura.

A planilha com os resíduos perigosos selecionados juntamente com suas respectivas variáveis pesquisadas encontra-se no Apêndice 1.

Outra carência, na etapa do levantamento qualitativo, foi a indisponibilidade de estudos e normas de classificação de resíduos perigosos existentes que indiquem graus de periculosidade de substâncias químicas. Com isso, fez-se necessário criar termos linguísticos para expressar o quanto um composto químico pode ser perigoso à saúde humana e ao meio ambiente, que foram os determinados para as variáveis de saída do Item 3.1.1.

Os valores atribuídos nas partições das variáveis *fuzzy*, assim como seus valores linguísticos, foram baseados em informações de especialistas da área de Engenharia Química e estudos dessa área, com exceção das variáveis: Quantidade, Inflamabilidade, Reatividade, Potencial de Exposição, Efeito Físico-Químico, Ecotoxicidade, Toxicidade, Efeito no Meio Ambiente e Grau de Periculosidade, devido à falta dessas informações na literatura. Dessa forma, essas variáveis foram propostas para possibilitar o desenvolvimento do presente estudo (Quadro 2, Item 3.2).

Todas as funções de pertinência das variáveis *fuzzy* foram, inicialmente, estabelecidas na forma triangular. A figura 3 ilustra esse tipo de função. Após o processamento de alguns conjuntos, a função triangular foi eventualmente substituída por outras formas (Trapezoidal, Função S ou Função Z) por não apresentar resultados coerentes, que foi o caso das variáveis: Quantidade, Corrosividade e Inflamabilidade. Na Quantidade, utilizaram-se as funções de pertinência Trapezoidal, exceto na última partição (Extremamente Alta) que foi utilizada a Função S. Na Corrosividade, a primeira partição (Altamente Corrosivo) foi substituída pela Função Z, as partições intermediárias pela função Trapezoidal e a última partição (Altamente Corrosivo) pela Função S. Para a variável Inflamabilidade, todas as funções de pertinência foram ajustadas para a forma trapezoidal.

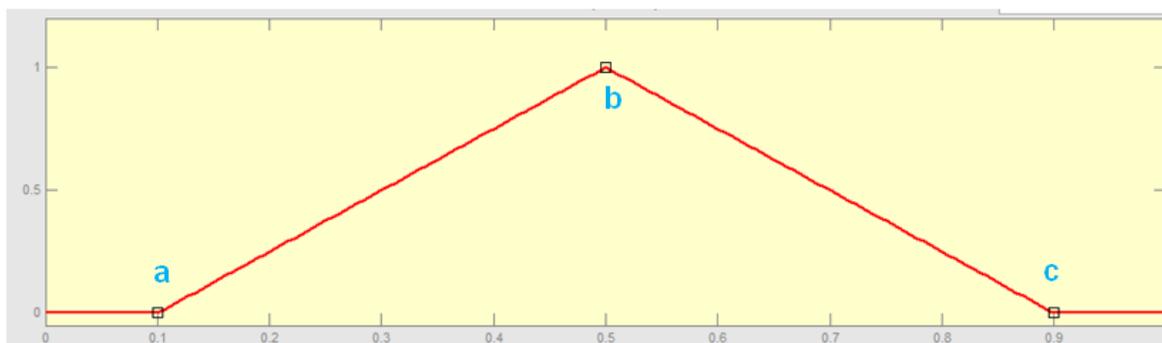


FIGURA 3 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR

A função de pertinência triangular é uma função de “ x ” e é caracterizada por três parâmetros escalares (**a**, **b** e **c**), onde **a** e **c** determinam o intervalo dentro do

qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero e correspondem aos valores de x localizados nos vértices da base do triângulo, que possuem pertinência igual a zero. O b é o ponto onde a função de pertinência é máxima, ou seja, é o valor de x localizado no vértice com pertinência igual a 1. Na Figura 3 é apresentada uma função de pertinência triangular onde são destacados a , b e c . Nesta figura, encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores dos graus de pertinência, no intervalo de $[0, 1]$, da variável que se quer estudar.

A função de pertinência trapezoidal é uma função de “ x ” e é caracterizada por quatro parâmetros escalares (a , b , c e d), onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero e correspondem aos valores de x cuja pertinência é igual a zero, enquanto b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima, ou seja, correspondem aos valores de x com pertinência igual a 1. A Figura 4 representa uma função de pertinência trapezoidal onde são destacados os pontos a , b , c e d . Nesta figura, encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores dos graus de pertinência, no intervalo de $[0, 1]$, da variável que se quer estudar.

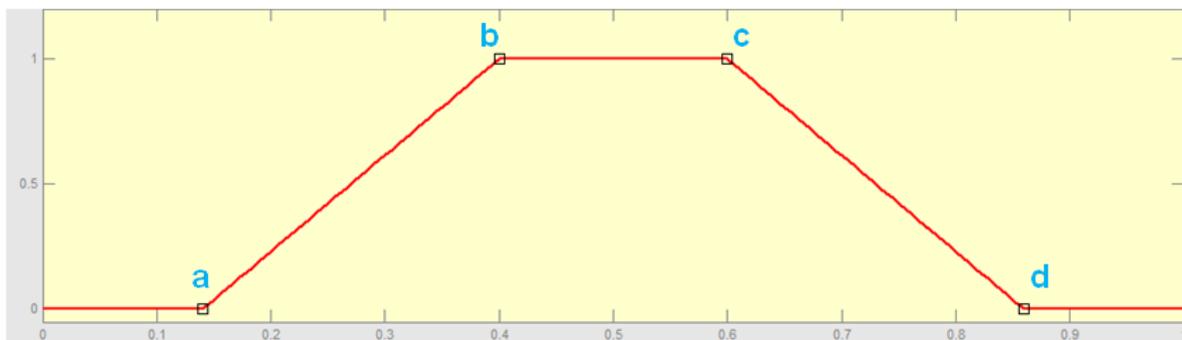


FIGURA 4 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL

A Função Z tem esse nome pela função de pertinência apresentar a forma de “Z”. É a função de “ x ”, onde a e b correspondem aos valores de x localizados nos extremos da parte inclinada da curva. O parâmetro a é o menor valor do universo de discurso que possui pertinência 1 e o b é o maior valor do universo de

discurso que possui pertinência zero, isto é, para x igual e menor que **a**, a pertinência é igual a 1 e para x igual e maior que **b**, a pertinência é zero. A Figura 5 representa uma Função Z, onde são destacados os pontos **a** e **b**. Nesta figura, encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores dos graus de pertinência, no intervalo de $[0, 1]$, da variável que se quer estudar.

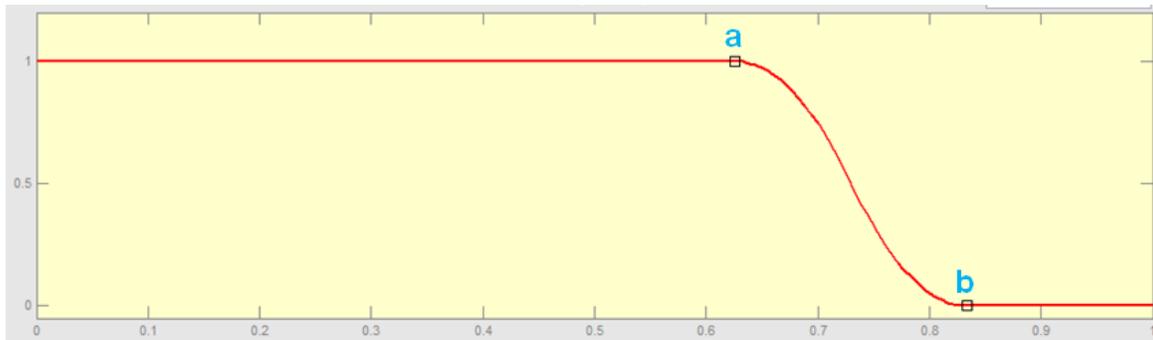


FIGURA 5 – FUNÇÃO Z

A Função S tem esse nome pela função de pertinência apresentar a forma de “S”. É a função de “ x ”, onde **a** e **b** correspondem aos valores de x localizados nos extremos da parte inclinada da curva. O parâmetro **a** é o maior valor do universo de discurso que possui pertinência zero e o **b** é o menor valor do universo de discurso que possui pertinência 1, isto é, para x igual e menor que **a**, a pertinência é igual a zero e para x igual e maior que **b**, a pertinência é 1. A Figura 6 representa uma Função S, onde são destacados os pontos **a** e **b**. Nesta figura, encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores dos graus de pertinência, no intervalo de $[0, 1]$, da variável que se quer estudar.

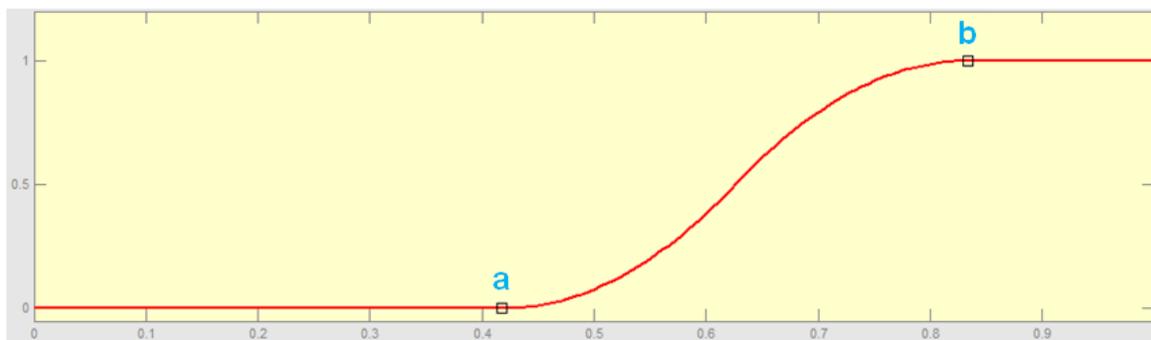


FIGURA 6 – FUNÇÃO S

Com o intuito de obter um resultado mais claro após a defuzzificação, bem como uma melhor demonstração das partições e suas respectivas funções de pertinência, alguns dos valores das partições foram transformados em logaritmos neperianos (\ln), alguns valores menores do que zero, foram determinados como “- Infinito” e outros maiores do que o valor máximo da partição como “+ Infinito”.

Todas as funções de pertinência determinadas para cada variável e as transformações para \ln , de algumas variáveis que demonstraram essa necessidade, estão representadas no Apêndice 2.

No caso de ausência de determinados dados de entrada, para não impossibilitar o processamento do sistema *fuzzy* e não comprometer a classificação adotou-se o valor zero, mas quando as partições estão transformadas em \ln , não é possível utilizar este valor, então utilizou-se “- Infinito ou + Infinito”, como solução para evitar interferências nos antecedentes da regra.

O software apresentou um erro quando utilizado o “- Infinito” para a variável de entrada Kow. Em vez de apontar um valor baixo, apontou um valor alto quando inserido um valor negativo fora do *range* (universo de discurso). Com isso, foi estabelecido o valor mínimo do *range* (-0,5) para os compostos que não dispõem este dado.

Na primeira tentativa de classificação dos resíduos perigosos da UFPR, a estrutura, para o sistema lógico *fuzzy*, foi elaborada com a variável de entrada Quantidade no nível 3, sendo influenciada pelas variáveis de entrada Corrosividade e Inflamabilidade, do nível 4, e com as variáveis de entrada Solubilidade e Ponto de Fusão, do nível 4, influenciando não apenas na variável

de saída Efeito Físico-Químico, mas também nas variáveis de saída Ecotoxicidade e Toxicidade, ambas do nível 3 (Figura 7).

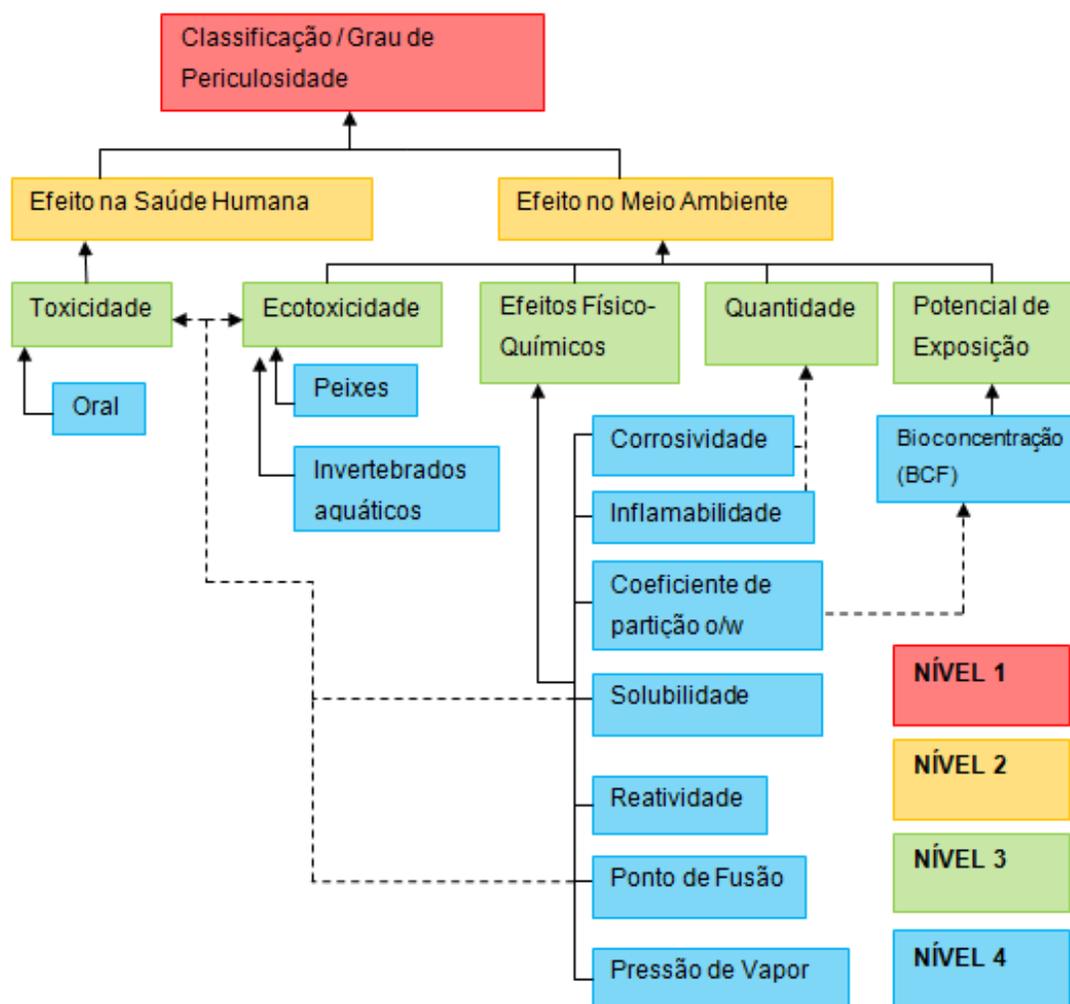


FIGURA 7 – PRIMEIRA ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO ELABORADA

Para essa estrutura, foi necessário criar três conjuntos de efeito físico-químico para obter apenas um resultado final ou apenas a inserção de uma variável entrada para a variável de saída Efeito no Meio Ambiente, conforme descrito no Quadro 5.

VARIÁVEL DE ENTRADA	VARIÁVEL DE SAÍDA
Quantidade	EFQ1
Corrosividade	
Inflamabilidade	
Ponto de Fusão	EFQ2
Pressão de Vapor	
Solubilidade	
Kow	
Inflamabilidade	
Corrosividade	
Reatividade	EFQ3
EFQ1	
EFQ2	EMA
Ecotoxicidade	
Potencial de Exposição	
EFQ3	

QUADRO 5 – CONJUNTOS DO EFQ E DO EMA DA ESTRUTURA 1

Os resultados obtidos da primeira estruturação para a classificação estão representados no Quadro 6.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)										
	PE	ECOT	TOX	EFQ1	EFQ2	EQF3	ESH	EMA	QTDE	GP	
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,58	0,84	0,62	0,84	0,61	1,250	0,68	MP*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,16	0,22	0,42	0,79	0,61	1,000	0,67	MP
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,16	0,84	0,62	0,79	0,61	1,000	0,67	MP
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,16	0,38	0,50	0,59	0,001	0,55	P*
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,16	0,83	0,61	0,50	0,51	1,000	0,51	P
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,16	0,50	0,50	0,46	0,50	1,250	0,48	P
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,84	0,62	0,83	0,51	540	0,63	MP
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,16	0,38	0,53	0,59	0,100	0,58	P
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,84	0,62	0,50	0,58	6,050	0,54	P
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,84	0,62	0,41	0,51	3,760	0,46	P
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,84	0,62	0,50	0,51	3,400	0,51	P
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,84	0,62	0,80	0,51	4,000	0,62	MP
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,50	0,84	0,62	0,28	0,51	0,500	0,42	P
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,84	0,62	0,48	0,59	1,500	0,53	P
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,50	0,84	0,62	0,50	0,54	0,100	0,52	P
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,84	0,62	0,19	0,52	2,510	0,39	PP*

Conclusão.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)										
	PE	ECOT	TOX	EFQ1	EFQ2	EQF3	ESH	EMA	QTDE	GP	
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,50	0,84	0,62	0,50	0,52	0,600	0,51	P

QUADRO 6 – RESULTADOS DA PRIMEIRA ESTRUTURA PARA A CLASSIFICAÇÃO

*NOTA: As letras P, PP e MP são abreviaturas de PERIGOSO, POUCO PERIGOSO e MUITO PERIGOSO, respectivamente.

Como o conjunto de regras que analisa o efeito físico-químico segue a lógica de que se qualquer variável de entrada apresentar um valor alto, esse efeito será alto, mesmo que seja apenas uma variável, os resultados do EFQ2 serão iguais para todos os compostos químicos que apontam algum perigo, pois todas essas variáveis foram determinadas por indicarem características de periculosidade. Os compostos químicos que não apresentam periculosidade em relação ao efeito físico-químico apresentam na toxicidade, ecotoxicidade ou fator de bioconcentração, com isso, os valores de EFQ2 neste caso são variados.

Na análise dos compostos que apresentam algum efeito físico-químico alto (Quadro 6), o EFQ1 apresenta alguns valores diferenciados em relação a EFQ2, porque estão relacionados com a quantidade e é esta variável que interfere no resultado da variável de saída. Por exemplo, um composto químico considerado como altamente corrosivo em pequenas quantidades apresenta um efeito físico-químico menor do que em grandes quantidades.

Entretanto, a classificação final apresentou incoerência (Quadro 6) como, por exemplo, o dicromato de sódio que, é corrosivo, não é inflamável e apresenta uma quantidade extremamente alta, foi classificado como Muito Perigoso, enquanto que deveria ser como Extremamente Perigoso. Os compostos óxido de mercúrio e iodeto de mercúrio, ambos com quantidade Média, deveriam ter a classificação de Perigosos, mas foram classificados como Muito Perigosos, por apresentarem TOX alta e por esta variável não estar relacionada com a quantidade. Estes dois exemplos comprovam que a variável Quantidade é mais adequada no nível principal da estrutura para demonstrar sua influência na classificação.

A incoerência demonstrada é decorrente do método de defuzzificação

utilizado, pois como o método do Centro-da-Área calcula a média ponderada para uma distribuição de dados, quando o EFQ3 é processado, o EFQ1 perde seu peso no resultado final e contribui para a diminuição dos valores desse, pois os valores de EFQ2 são maiores, ou seja, a variável Quantidade perde sua importância na classificação. Em outras palavras, com o cálculo da média ponderada dos valores de EFQ1 e de EFQ2, o EFQ3 resulta em valores menores que o EFQ2, para os compostos que apresentam EFQ alto (Quadro 6). No caso dos compostos químicos que apresentam TOX, ECOT e PE alto, a Quantidade também perde sua importância, por não existir esta relação na estrutura (Figura 7).

A estrutura, em questão, demonstrou que a variável Quantidade influenciou apenas no efeito físico-químico não atingindo a proposta do trabalho que é relacionar a quantidade tanto no dano à saúde humana quanto ao meio ambiente, concluindo que a quantidade deve interferir em todos os efeitos avaliados no nível 3, sendo necessária transferi-la para um nível de maior importância ou influência para a classificação, com isso, esta variável foi inserida no nível 2, juntamente com as variáveis Efeitos na Saúde Humana e Efeitos no Meio Ambiente, como variáveis de entrada para o nível 1, Grau de Periculosidade, de acordo com a Figura 2, do Item 3.1.2.

Durante a inserção das variáveis Solubilidade e Ponto de Fusão na Ecotoxicidade e Toxicidade e a criação do conjunto de regras, percebeu-se que essa influência iria apresentar incoerência, pois mesmo que essas propriedades físico-químicas potencializem a toxicidade e ecotoxicidade, a estrutura sugerida demonstrou inadequação quando os três grupos de resíduos perigosos (metais tóxicos, ácidos inorgânicos e ácidos orgânicos) são analisados em conjunto. Por exemplo, o composto óxido de mercúrio apresenta alto ponto de fusão e baixa solubilidade e é mais tóxico que o ácido sulfúrico que apresenta baixo ponto de fusão e alta solubilidade. Como há estudos que relacionam a toxicidade a compostos químicos solúveis e com ponto de fusão próximo à temperatura ambiente e também há estudos referentes a compostos químicos com pouca solubilidade e alto ponto de fusão, como agravantes da toxicidade (LIPNICK, 1990, DEARDEN, 1991). Estas duas situações dificultam na elaboração das

regras *fuzzy* de uma forma coerente.

A regra para alguns ácidos irá contrariar a regra para alguns metais pesados, por exemplo, a regra “Se a Solubilidade é Alta e o Ponto de Fusão é Baixo então a Ecotoxicidade (ou Toxicidade) é Alta” vale para alguns ácidos, mas para nenhum do grupo dos metais, que com características opostas a esta regra também podem ser tóxicos. Com isso, foram retiradas as variáveis Solubilidade e Ponto de Fusão como entradas para as variáveis de saída Ecotoxicidade e Toxicidade, influenciando apenas a variável Efeito Físico-Químico.

A estrutura final adotada, para o modelo de classificação dos resíduos perigosos da UFPR, que apresentou resultados de acordo com a proposta do trabalho e com a realidade da Universidade está representada na Figura 2, do Item 3.1.2.

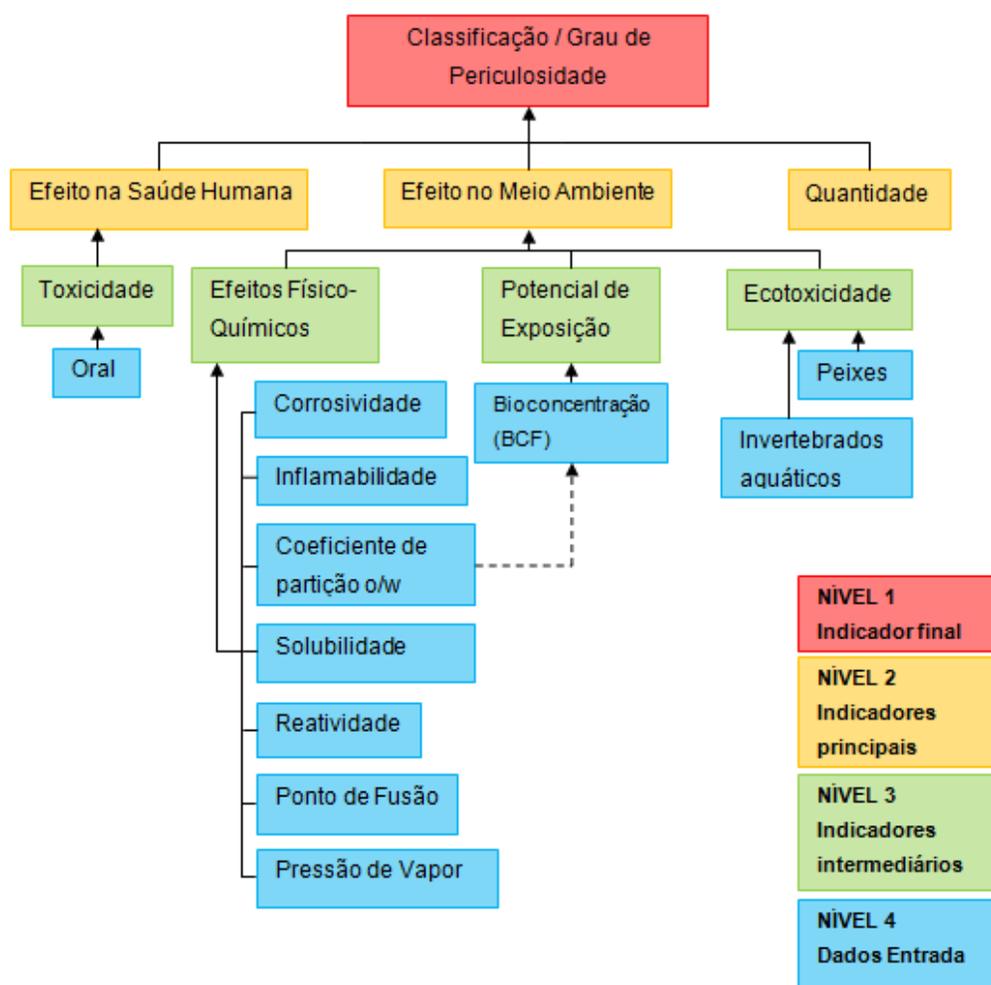


FIGURA 2 – ESTRUTURA PARA DETERMINAR O GRAU DE PERICULOSIDADE

A seguir, é demonstrado como é estruturado o conjunto A no programa, com o auxílio das Figuras 8 a 13.

Para obter o Potencial de Exposição (PE) de um determinado resíduo perigoso, foi criado o Conjunto A e foram inseridas as variáveis de entrada Kow e BCF, sendo a variável de saída o PE, conforme a Figura 8. Foi utilizada a função de pertinência triangular para as todas as variáveis desse conjunto.

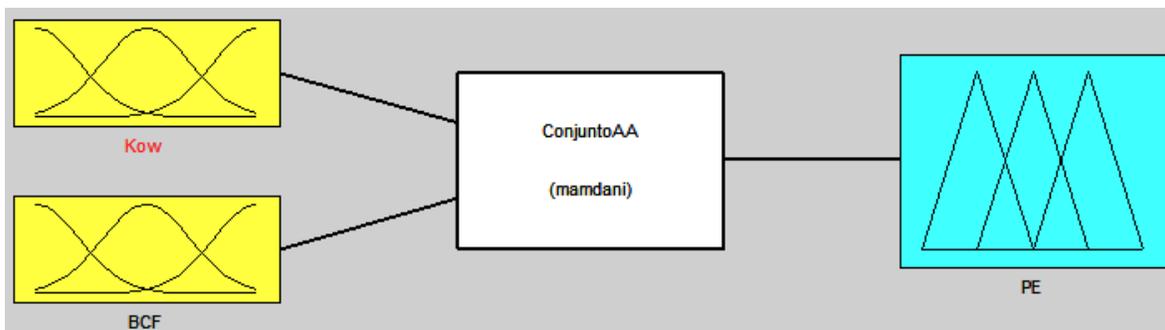


FIGURA 8 – INSERÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA NO SISTEMA FUZZY

Na variável de entrada Kow (Figura 9), pode-se observar que entre o intervalo $<-0,5$ e 1 , o resíduo pode ser considerado com um Kow “Baixo” com grau de pertinência variando de 0 a 1 até o ponto 1 , sendo 1 para o valor menor que $-0,5$ e 0 para o valor 1 . É considerado um Kow “Médio” com grau de pertinência 1 se apresentar o valor 1 , com esse grau diminuindo para zero até os pontos $-0,5$ e $2,5$. O Kow é “Alto” se apresentar valores maiores que $2,5$ com grau de pertinência 1 e com esse grau diminuindo para zero até o ponto $1,5$ (Quadro 3 e Apêndice 2).

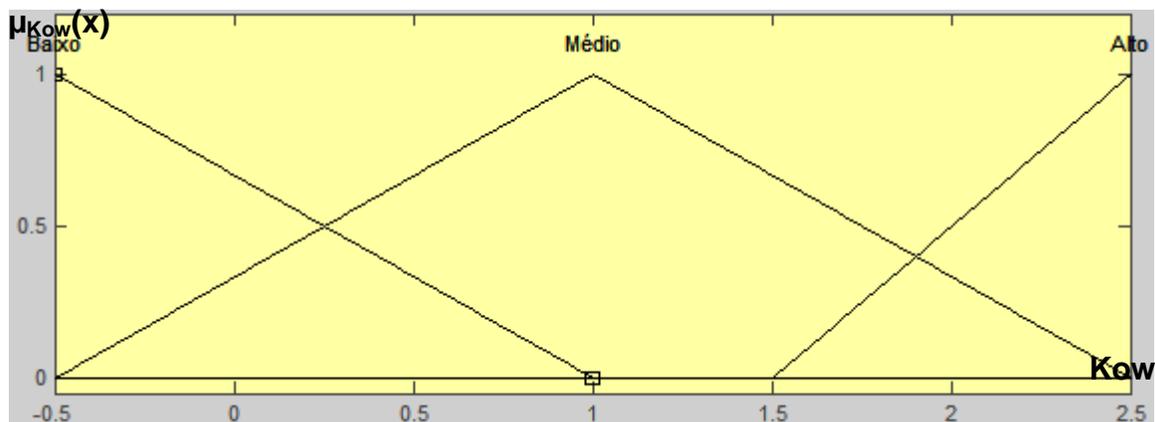


FIGURA 9 – VARIÁVEL DE ENTRADA Kow

Na variável de entrada BCF (Figura 10), um resíduo perigoso será considerado como “Não bioacumulável” se seu valor for -3 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até o ponto -2,3, será “Muito pouco bioacumulável” se seu valor for 0,25 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até os pontos -2,5 e 3, será “Pouco bioacumulável” se seu valor for 3,5 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até os pontos 1,5 e 5,5, apresentará um BCF “Moderado” se seu valor for 5,75 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até os pontos 3,5 e 8, será “Altamente bioacumulável” se seu valor for 7,25 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até os pontos 6 e 8,5 e será “Extremamente bioacumulável” se seu valor for 10 no grau de pertinência 1, com esse grau diminuindo para 0 até o ponto 8,25 (Quadro 3 e Apêndice 2).

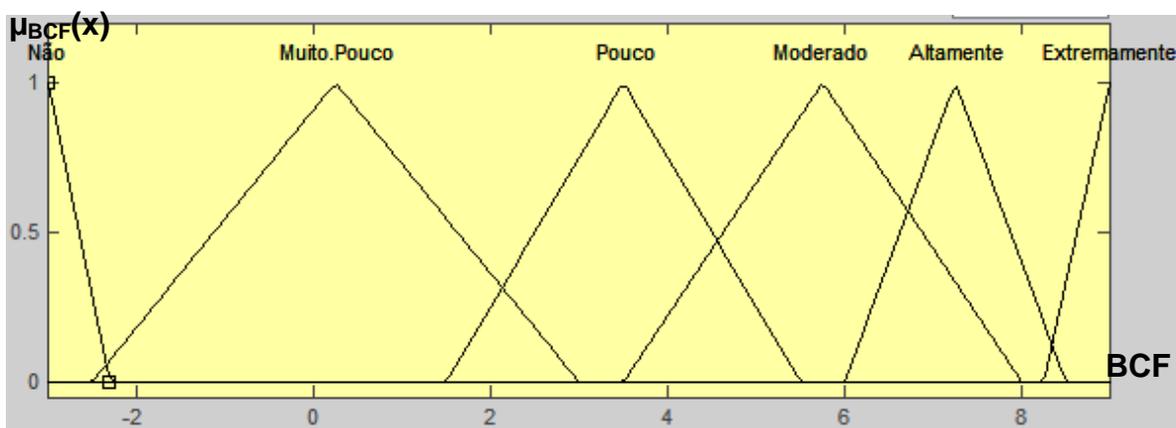


FIGURA 10 – VARIÁVEL DE ENTRADA BCF

Na variável de saída PE (Figura 11), esse será “Baixo” se estiver nos intervalos entre 0,25 e 0,5, com grau de pertinência variando de 0 a 0,5, e nos intervalos de 0 a 0,25, com grau de pertinência variando de 0,5 a 1, será “Médio” nos intervalos de 0 a 0,25, com grau de pertinência variando 0 a 0,5, e nos intervalos de 0,25 a 0,5 e de 0,5 a 0,75, com grau de pertinência variando de 0,5 a 1, sendo que no ponto 0,5 seu grau de pertinência é 1 e será “Alto” nos intervalos de 0,5 a 0,75, com grau de pertinência entre 0 e 0,5, e nos intervalos de 0,75 a 1, com grau de pertinência variando de 0,5 a 1 (Quadro 3 e Apêndice 2).

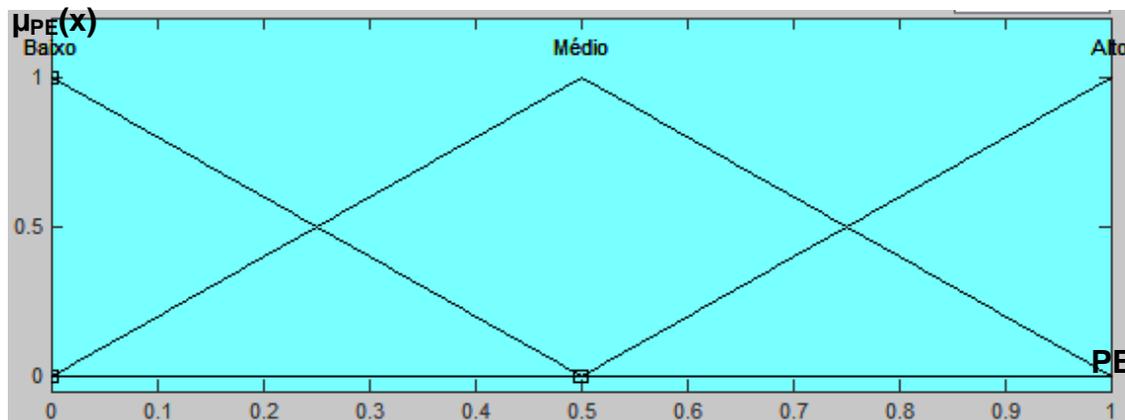


FIGURA 11 – VARIÁVEL DE SAÍDA PE

Depois de inseridas as variáveis de entrada e de saída, foram inseridas as regras *fuzzy* (Figura 12), no total de dez para este conjunto (Apêndice 3), utilizando o operador *max* (*or*) para a união das variáveis que representam os maiores valores e o operador *min* (*and*) para a intersecção das variáveis que indicam valores intermediários e das variáveis que indicam valores menores, para serem processadas pelo sistema de inferência Mamdani que demonstra se estas regras estão coerentes ou se há a necessidade de ajustes nas funções de pertinência.

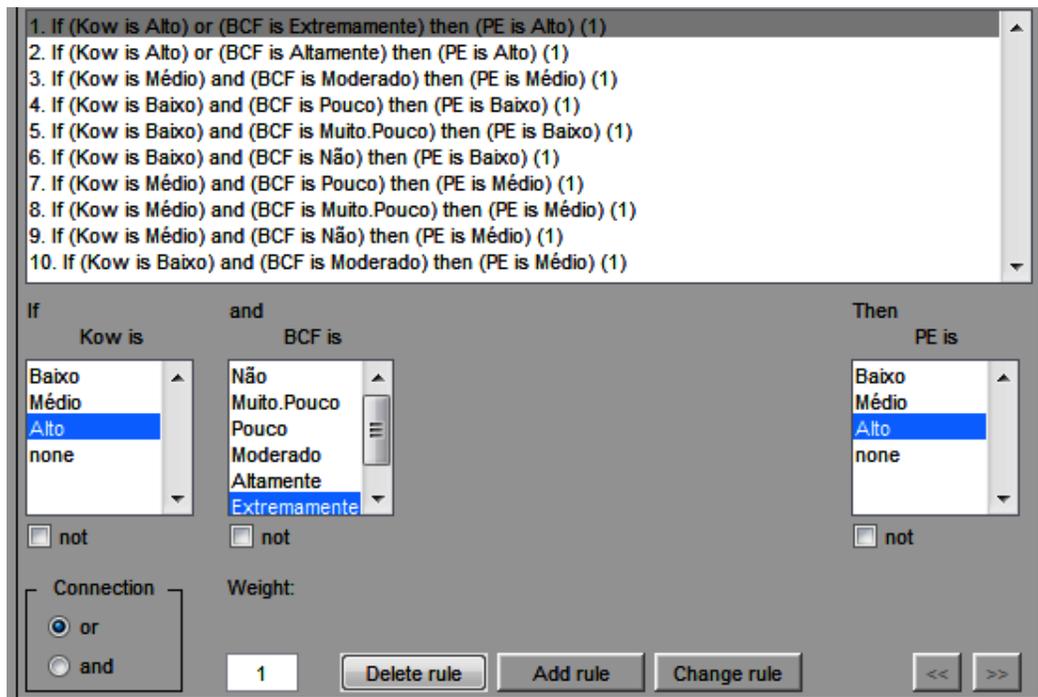


FIGURA 12 – INSERÇÃO DAS REGRAS FUZZY DO CONJUNTO A

O resultado da agregação das regras apresentou coerência para o conjunto A. Na Figura 13, é possível observar o resultado da Inferência Mamdani e o valor de defuzzificação, onde as regras para a variável Kow estão representadas na primeira coluna, as regras do BCF na segunda coluna e o resultado do PE na terceira coluna. Acima da coluna do PE é informado um número que é o gerado pela defuzzificação, para cada situação, que será o valor de entrada para o sistema de inferência do próximo nível. Abaixo da coluna do PE é demonstrado o centroide, ou seja, o centro da área indicando o ponto do valor da defuzzificação.

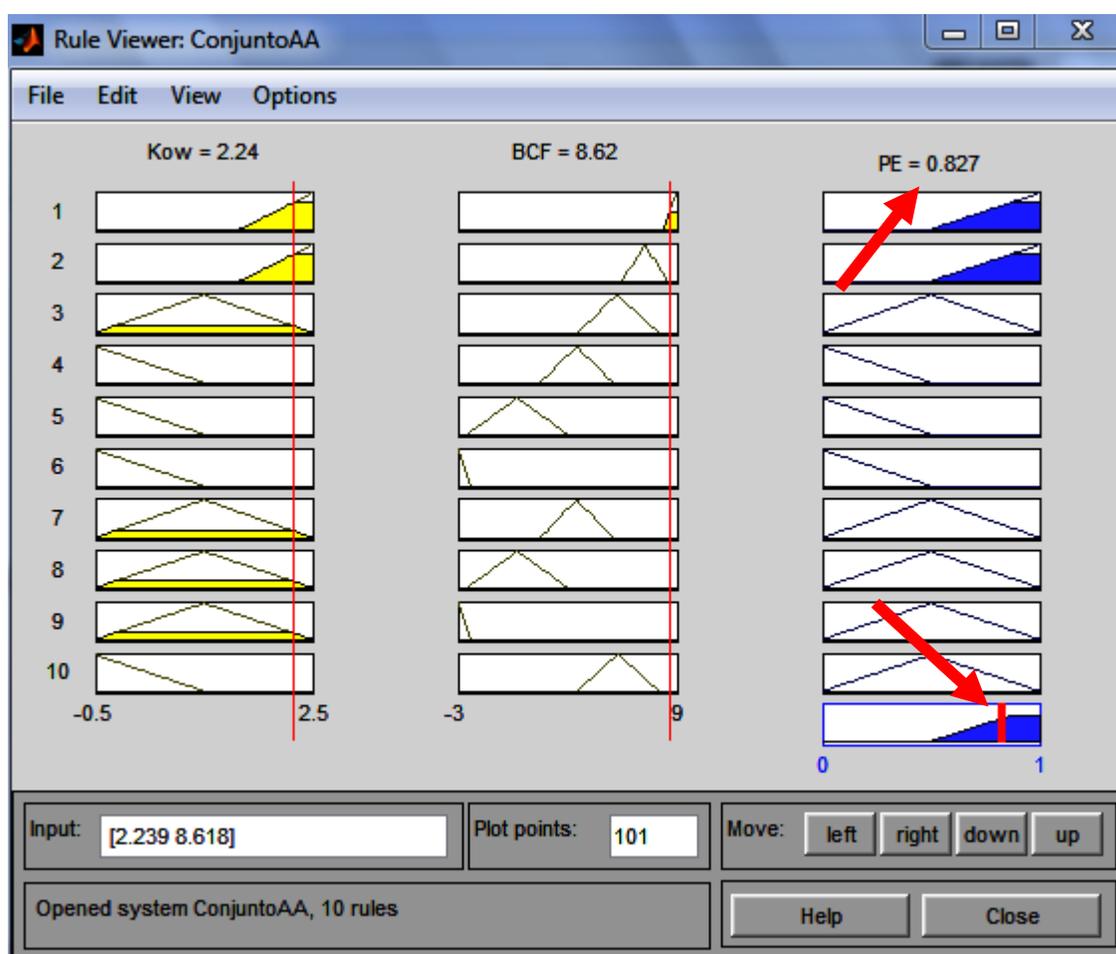


FIGURA 13 – DEFUZZIFICAÇÃO DO CONJUNTO A

No caso representado na Figura 13, foram acionadas as duas primeiras regras, que são: “Se Kow é Alto ou BCF é Extremamente Bioacumulável Então PE é Alto”; “Se Kow é Alto ou BCF é Altamente Bioacumulável Então PE é Alto”.

O procedimento descrito para o conjunto A foi atribuído a todos os demais conjuntos. A estrutura representada pela Figura 2 foi implementada utilizando o software MATLAB[®]. A sequência de conjuntos utilizados encontra-se descrita no Apêndice 3 e a estrutura implementada no programa no Apêndice 4.

Os dados referentes a cada resíduo avaliado foram inseridos no programa. O intervalo de valores para a variável de saída é [0,1], em que 0 representa o nível mais baixo de periculosidade e 1, o nível mais alto.

Os resultados dos resíduos perigosos avaliados estão representados no Quadro 7, com seus respectivos graus de periculosidade e variável linguística de classificação.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)								
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	QTDE	GP	
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,84	0,84	0,59	1,250	0,60	MP*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,22	0,79	0,57	1,000	0,58	P*
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,84	0,79	0,57	1,000	0,58	P
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,50	0,49	0,001	0,50	P
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50	0,57	1,000	0,39	PP*
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,50	0,46	0,50	1,250	0,40	P
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,83	0,57	540	0,80	EP*
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,53	0,49	0,100	0,30	PP
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,50	0,57	6,050	0,50	P
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,41	0,50	3,760	0,50	P
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,50	0,57	3,400	0,50	P
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,80	0,51	4,000	0,70	MP
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,84	0,28	0,57	0,500	0,30	PP
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,48	0,57	1,500	0,50	P
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,84	0,50	0,51	0,100	0,30	PP
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,19	0,62	2,510	0,38	PP
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,84	0,50	0,52	0,600	0,32	PP

QUADRO 7 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS DA UFPR

*NOTA: As letras P, PP, MP e EP são abreviaturas de PERIGOSO, POUCO PERIGOSO, MUITO PERIGOSO e EXTREMAMENTE PERIGOSO, respectivamente.

O grupo dos metais tóxicos foi classificado, em sua maioria, como Perigoso, apresentando graus de periculosidade com variações entre 0,40 e 0,58, conforme dados do Quadro 7. O cloreto de cromo III foi o composto com o menor grau em comparação aos outros compostos dessa classe, apresenta os menores valores também para TOX e ESH, mas a variável que influenciou para ser classificado como Perigoso foi a quantidade, que é a de maior valor para esta classe. O

chumbo tem a menor quantidade de todos os compostos dos três grupos, mas foi classificado como Perigoso por apresentar valor alto no PE. O óxido de mercúrio e o iodeto de mercúrio apresentam os mesmos valores em todas as variáveis, com exceção do EFQ do óxido de mercúrio que apresentou um valor baixo, com grau de 0,22, mas sem alterar sua classe.

Apesar de o nitrato de chumbo apresentar graus maiores nas variáveis TOX, EFQ, ESH e EMA em comparação ao cloreto de cromo III, tem quantidade menor e por isso foi classificado, com grau 0,39, como Pouco Perigoso. O mesmo ocorre com o cádmio que apresenta graus maiores nas variáveis PE, TOX e ESH, mas obteve essa classificação por ter a quantidade muito baixa.

O cloreto de mercúrio, dentro do grupo dos metais, foi o único composto a ser classificado como Muito Perigoso devido aos seus valores de ECOT, TOX, ESH e EMA apresentarem maior grau em relação aos demais compostos desse grupo, por conter valores superiores de toxicidade para DL50, CL50 e CE50 em relação aos outros compostos que tem esses dados disponíveis.

O composto que apresentou o maior grau de periculosidade de todos os compostos, dos três grupos, com valor 0,80, foi o dicromato de sódio, com valores altos para as variáveis TOX, EQF, ESH e QTDE, apresentando a maior quantidade dos demais compostos, sendo classificado como Extremamente Perigoso.

No grupo dos ácidos inorgânicos, conforme o Quadro 7, o composto que apresentou maior grau de periculosidade, com valor de 0,70, foi o ácido fluorídrico, sendo classificado como Muito Perigoso e apesar de apresentar o menor grau na variável ECOT, apresentou os maiores graus nas variáveis TOX e ESH comparado aos demais. O composto que apresentou a menor classificação foi o ácido bórico, como Pouco Perigoso, com menores graus em TOX e, conseqüentemente, em ESH e com a menor quantidade do grupo. Os outros compostos foram classificados como Perigoso todos com grau de periculosidade 0,50, destacando o ácido sulfúrico com menor grau em PE e o ácido clorídrico com maior grau em ECOT e maior quantidade do grupo.

Para o grupo dos ácidos orgânicos, o ácido benzoico foi considerado como

Perigoso, com grau de periculosidade 0,50 e com os maiores graus em todas as variáveis em comparação aos demais compostos deste grupo.

O ácido salicílico, o ácido acético e o ácido acetilsalicílico, foram classificados como Pouco Perigosos, com graus de periculosidade de 0,30, 0,39 e 0,32, respectivamente. O ácido salicílico tem a menor quantidade do grupo, mas obteve esta classificação por apresentar grau alto em PE e as demais variáveis apresentaram graus maiores para o ácido acetilsalicílico.

No intuito de testar a confiabilidade do modelo de classificação, foram testados valores extremamente altos e muito baixos para a variável Quantidade, para todos os resíduos selecionados. Os resultados estão representados no Quadro 8.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)								
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	QTDE	GP	
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,84	0,84	0,59	540	0,80	EP*
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,84	0,84	0,59	0,018	0,50	P*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,22	0,79	0,57	540	0,78	MP*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,22	0,79	0,57	0,018	0,48	P
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,84	0,79	0,57	540	0,78	MP
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,84	0,79	0,57	0,018	0,48	P
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,50	0,49	540	0,50	P
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,50	0,49	0,018	0,30	PP*
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50	0,57	540	0,50	P
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50	0,57	0,018	0,30	PP
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,50	0,46	0,50	540	0,50	P
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,50	0,46	0,50	0,018	0,30	PP
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,83	0,57	540	0,80	EP
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,83	0,57	0,018	0,50	P
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,53	0,49	0,540	0,50	P
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,53	0,49	0,018	0,30	PP
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,50	0,57	540	0,50	P
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,50	0,57	0,018	0,30	PP
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,41	0,50	540	0,50	P
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,41	0,50	0,018	0,30	PP
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,50	0,57	540	0,50	P
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,50	0,57	0,018	0,30	PP
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,80	0,51	4,000	0,80	EP
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,80	0,51	0,018	0,50	P
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,84	0,28	0,57	540	0,50	P
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,84	0,28	0,57	0,018	0,30	PP
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,48	0,57	540	0,50	P
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,48	0,57	0,018	0,30	PP
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,84	0,50	0,51	540	0,50	P

Conclusão.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)								
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	QTDE	GP	
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,84	0,50	0,51	0,018	0,30	PP
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,19	0,62	540	0,50	P
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,19	0,62	0,018	0,30	PP
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,84	0,50	0,52	540	0,50	P
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,84	0,50	0,52	0,018	0,30	PP

QUADRO 8 – VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS PARA A QUANTIDADE

*NOTA: As letras P, PP, MP e EP são abreviaturas de PERIGOSO, POUCO PERIGOSO, MUITO PERIGOSO e EXTREMAMENTE PERIGOSO, respectivamente.

Os resultados apresentaram coerência, conforme o Quadro 8, pois qualquer um dos compostos químicos que apresentarem quantidade extremamente alta deve ser classificado, no mínimo, como Perigoso. Destacam-se os compostos químicos que foram classificados como Extremamente Perigoso o cloreto de mercúrio, o dicromato de sódio e o ácido fluorídrico e como Muito Perigoso o óxido de mercúrio e o iodeto de mercúrio.

Outra tentativa de testar a confiabilidade do modelo foi a de classificar os resíduos perigosos sem a influência da quantidade, com isso foi retirado essa variável, conforme o Quadro 9.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)							
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	GP	
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,84	0,84	0,59	0,68	MP*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,22	0,79	0,57	0,62	MP
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,84	0,79	0,57	0,65	MP
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,50	0,49	0,49	P*
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50	0,57	0,54	P
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,50	0,46	0,50	0,48	P
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,83	0,57	0,66	MP
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,53	0,49	0,52	P
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,50	0,57	0,54	P
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,41	0,50	0,45	P
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,50	0,57	0,54	P
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,80	0,51	0,62	MP
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,84	0,28	0,57	0,45	P
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,48	0,57	0,53	MP
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,84	0,50	0,51	0,51	P
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,19	0,62	0,38	PP*

Conclusão.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)							
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	GP	
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,84	0,50	0,52	0,51	P

QUADRO 9 – CLASSIFICAÇÃO SEM A QUANTIDADE

*NOTA: As letras P, PP, MP são abreviaturas de PERIGOSO, POUCO PERIGOSO e MUITO PERIGOSO, respectivamente.

Os resultados apresentados no Quadro 9, também apresentaram coerência. Todos os compostos químicos apresentaram algum grau de periculosidade, o que não poderia ser diferente, pois todos os resíduos selecionados apresentam alguma característica de perigo conhecida, ou seja, nenhum desses compostos poderia ser classificado como Quase Perigoso. Por exemplo, é conhecido que o ácido acético é Pouco Perigoso.

Analisando o fato de que o potencial de exposição também influencia nos efeitos na saúde humana, foi testada a variável PE como variável de entrada junto com a TOX para resultar na variável de saída Efeito na Saúde Humana, mas como há poucos dados disponíveis do BCF (variável que determina o PE no modelo de classificação proposto nesse trabalho) na literatura para os resíduos selecionados, os resultados de alguns compostos químicos não foram coerentes. É o caso dicromato de sódio que deveria ser classificado como Extremamente Perigoso e foi como Perigoso, conforme Quadro 10, por não conter o dado de BCF disponível. A ausência desse dado de entrada diminuiu sua classificação por utilizar o “- Infinito” e com o cálculo da média ponderada das variáveis TOX e PE no processo de defuzzificação resulta em um valor menor do que deveria resultar.

RESÍDUO	RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS, PRINCIPAIS E RESULTADO FINAL (CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PERIGOSOS)								
	PE	ECOT	TOX	EFQ	ESH	EMA	QTDE	GP	
Cloreto de Mercúrio	0,81	0,77	0,84	0,84	0,61	0,59	1,250	0,41	P*
Óxido de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,22	0,60	0,57	1,000	0,40	P
Iodeto de Mercúrio	0,83	0,50	0,79	0,84	0,60	0,57	1,000	0,40	P
Chumbo	0,80	0,50	0,50	0,16	0,59	0,49	0,001	0,50	P
Nitrato de Chumbo	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50	0,57	1,000	0,39	PP*
Cloreto de Cromo III	0,50	0,50	0,46	0,50	0,50	0,50	1,250	0,40	P
Dicromato de Sódio	0,50	0,57	0,83	0,84	0,61	0,57	540	0,54	P
Cádmio	0,80	0,50	0,53	0,16	0,59	0,49	0,100	0,30	PP
Ácido Clorídrico	0,50	0,78	0,50	0,84	0,50	0,57	6,050	0,50	P
Ácido Sulfúrico	0,18	0,50	0,41	0,84	0,49	0,50	3,760	0,50	P
Ácido Nítrico	0,50	0,50	0,50	0,84	0,50	0,57	3,400	0,50	P
Ácido Fluorídrico	0,50	0,19	0,80	0,84	0,60	0,51	4,000	0,50	P
Ácido Bórico	0,50	0,50	0,28	0,84	0,50	0,57	0,500	0,30	PP
Ácido Benzoico	0,80	0,50	0,48	0,84	0,59	0,57	1,500	0,50	P
Ácido Salicílico	0,70	0,20	0,50	0,84	0,54	0,51	0,100	0,30	PP
Ácido Acético	0,28	0,20	0,19	0,84	0,37	0,62	2,510	0,39	PP
Ácido Acetilsalicílico	0,50	0,24	0,50	0,84	0,50	0,52	0,600	0,32	PP

QUADRO 10 – ESTRUTURA COM PE INFLUENCIANDO ESH

*NOTA: As letras P e PP são abreviaturas de PERIGOSO e POUCO PERIGOSO, respectivamente.

Outra situação que comprova que a média ponderada dessas duas variáveis contribui para a diminuição de classe são as dos compostos cloreto de mercúrio e ácido fluorídrico (Quadro 10) que deveriam ser classificados como Muito Perigosos e foram classificados como Perigosos. O óxido de mercúrio e o iodeto de mercúrio também diminuíram seus graus de periculosidade para 0,40, o mínimo para Perigoso, mas se mantiveram na mesma classe.

Essa ultima alternativa de estrutura é ideal para trabalhar com compostos químicos que apresentam todos os dados de entrada, caso contrário, o ideal é a utilização da estrutura adotada pelo presente trabalho, representada pela Figura 2.

Com o intuito de testar o modelo de classificação para resíduos não perigosos foram selecionadas as substâncias: água, sacarose e cloreto de sódio. Todas foram classificadas como Pouco Perigoso na quantidade Muito Baixa e como Perigoso na quantidade Extremamente Alta. As substâncias obtiveram um grau maior que o esperado para a quantidade mínima, devido o modelo proposto seguir em seu conjunto de regras a lógica de que se apresentarem qualquer valor alto para qualquer uma das variáveis de EFQ, este efeito será alto. Portanto, como

a água tem ponto de fusão baixo seu EFQ será alto. Já o cloreto de sódio e a sacarose apresentaram EFQ altos por apresentarem alta solubilidade. Contudo, conclui-se que o modelo proposto foi adequado para classificar resíduos perigosos e que para incluir os resíduos não perigosos nesta classificação é necessário adaptar os conjuntos de regras.

Musee, Aldrich e Lorenzen (2008b) utilizou uma estrutura de cinco níveis (Figura 14) para classificar resíduos perigosos. Os dados de entrada para o nível quatro foram toxicidade aguda, toxicidade crônica e infecciosa para compor o efeito de toxicidade do nível três. No entanto, não havia informação para toxicidade crônica. Para evitar esse conflito, foi optado por considerá-la igual a zero. Na presente dissertação, foi optado não utilizar essa variável na estrutura de classificação (Figura 2).

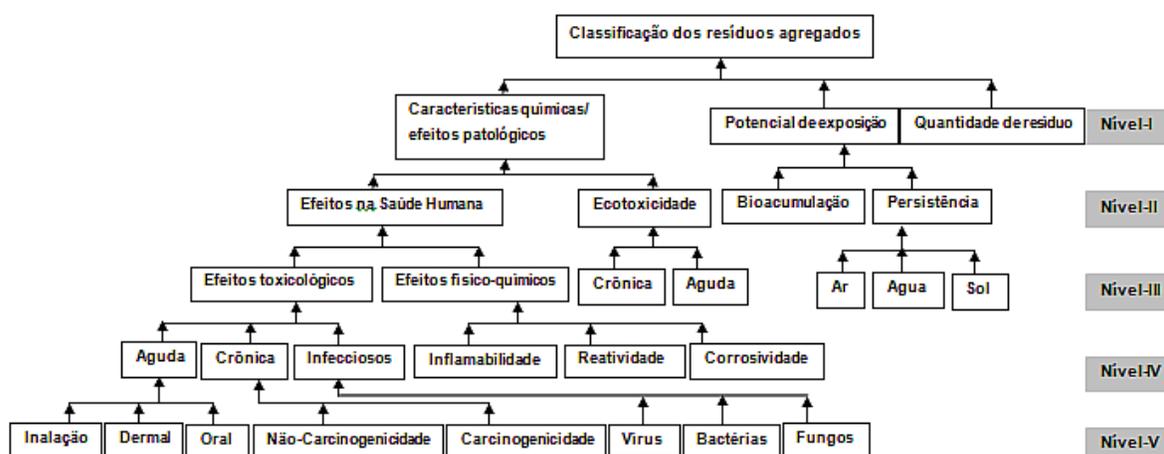


FIGURA 14 – ESTRUTURA DE CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA POR MUSEE, ALDRICH E LORENZEN

FONTE: Adaptado de MUSEE, ALDRICH, LORENZEN (2008b)

Musee, Aldrich e Lorenzen (2008b) utilizaram a inflamabilidade, corrosividade e reatividade para avaliar efeito na saúde humana (Figura 14), enquanto que no presente estudo foi utilizado solubilidade, pressão de vapor, ponto de fusão e coeficiente de partição octanol-água para avaliar o efeito no meio ambiente (Figura 2).

Para avaliar a Ecotoxicidade, Musee, Aldrich e Lorenzen (2008b) consideraram tanto a toxicidade aguda quanto a crônica e para avaliar o Potencial de Exposição consideraram, além da bioacumulação, a persistência nos

compartimentos ambientais água, ar e solo. Na presente dissertação, foi usado a apenas toxicidade aguda, enquanto que para Potencial de Exposição foi considerado apenas bioacumulação, mas essa sendo influenciada pela variável Coeficiente de Partição octanol-água dos Efeitos físico-química.

Para Musee, Aldrich e Lorenzen., 2008, a quantidade também foi considerada um nível antes da classificação, relacionada às características químicas/efeitos patológicos e ao potencial de exposição, ou seja, foi considerada em um nível hierárquico de maior importância para a classificação. Para a classificação final dos resíduos também foi necessária a determinação de termos linguísticos, porque nas pesquisas bibliográficas os autores encontraram somente classificações que indicam se os resíduos são benignos ou perigosos. Os termos linguísticos utilizados foram: Benigno, Parcialmente Perigoso, Perigoso e Altamente Perigoso. Foram selecionados 35 produtos químicos e esses foram utilizados para determinar nove grupos de mistura de compostos químicos hipotéticos no intuito de testar o modelo de classificação.

Do mesmo modo que nessa dissertação, a utilização de alguns procedimentos de normalização dos dados foi necessária, além de transformações logarítmicas para normalizar as escalas de distribuição, adotaram o cálculo dos valores médios e aproximação de pontos de dados usando os valores experimentais conhecidos de certas espécies.

Destaca-se que Musee, Aldrich e Lorenzen (2008b) avaliaram apenas os produtos químicos, enquanto que esta dissertação trata de resíduo da UFPR. Neste caso, efeito de quantidade passa a ser relevante para as decisões de gestão ambiental.

5 CONCLUSÃO

Os principais compostos presentes no resíduos perigosos do banco de dados da DGA, referente ao ano de 2011, da UFPR, foram selecionados com base em maior periculosidade e maior quantidade. Os resíduos selecionados podem ser separados em três grupos: metais tóxicos, ácidos inorgânicos e ácidos orgânicos.

As variáveis de entrada foram distribuídas em hierarquias de acordo com a aparente correlação causa-efeito. Essa hierarquia foi redistribuída para gerar o modelo final. As variáveis de saída foram discriminadas para informar o grau de perigo, como: Extremamente Perigoso; Muito Perigoso; Perigoso; Pouco Perigoso; Quase Perigoso.

O levantamento dos dados qualitativos e quantitativos também foi realizado por pesquisa de estudos na literatura e por inventários de produtos químicos da União Europeia. Devido à disponibilidade limitada de alguns dados, algumas variáveis de entrada não foram consideradas no modelo proposto para a classificação.

O modelo foi estruturado baseado na lógica *fuzzy*, que possibilitou a aplicação de variáveis quantitativas e qualitativas, simultaneamente. Os quatro níveis da estrutura, foram processados, pelo Sistema de Inferência Mamdani, do nível 4 para o nível 1. A estrutura precisou de alterações de hierarquia e transformações logarítmicas para normalizar a escala de distribuição para representar os resultados esperados, mas não houve necessidade de alteração do método de inferência e de defuzzificação.

A classificação apresentou coerência na representação da relação da quantidade com a periculosidade dos mesmos. Esta relação é fundamental para o gerenciamento de resíduos perigoso em instituições de ensino e pesquisa, pois os produtos químicos e seus respectivos resíduos podem apresentar alta variabilidade, como quantidade e diversidade.

Essa classificação poderá ajudar na elaboração de um modelo de manejo

dos produtos químicos e seus respectivos resíduos para a Universidade Federal do Paraná, bem como na redução de desperdício e uma utilização mais sustentável, minimizando o máximo possível a geração de resíduos perigosos para disposição final e, conseqüentemente, uma economia de forma geral para a instituição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A acessibilidade do modelo de classificação com o software utilizado, ou outro similar gratuito como o Scilab, deverá ser disponibilizada a todos os setores da UFPR que utilizem produtos químicos.

Uma bolsa de produtos químicos poderá ser criada em ambiente próprio para disponibilizar os produtos remanescentes com uso de sistema de informação integrada. Esse sistema deve contemplar validade do produto para evitar desperdício e minimizar possíveis passivos ambiental, incentivando o uso sustentável.

Este modelo de classificação pode ser utilizado por outras instituições de ensino e pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, S. M. *et al.* Ecological risk assessment in a large river–reservoir: 6. Bioindicators of fish population health. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 18, n. 8, p. 628-640, 1999.
- ADAMS, W. J.; ROWLAND, C. D. Aquatic toxicology test methods. In: HOFFMAN, D. J. **Handbook of ecotoxicology**. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 2002. p. 19-43.
- AFONSO, J. C. *et al.* Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova on line**, São Paulo, v. 26, n.4, p. 602-611, jan./fev., 2003.
- AFONSO, J. C.; SILVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, A. S. Análise sistemática de reagentes e resíduos sem identificação. **Química Nova on line**, São Paulo, v. 28, n.1, p. 157-165, jan./fev., 2005.
- ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, novembro 2008. v. 16 p. 1777-1785.
- ALTROCK, C. V. **Fuzzy logic and neuroFuzzy applications in busines and finance**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução de M. A. L. Recio e L. C. M. Carrera. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2002.
- BALDWIN, J. F. A new approach to approximate reasoning using a fuzzy logic. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 2, p. 309-325, 1979.

BERTOLETTI, E. Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. **Série Manuais CETESB**. 2nd ed. São Paulo, p. 1-42, 2013.

BRASINTER PRODUTOS QUÍMICOS. **Ficha de informação de produto**

químico: ácido sulfúrico. Disponível em:

<http://www.grupobrasinter.com.br/fispqs/11-ACIDO_SULFURICO.pdf>. Acesso em: 22/01/2014.

BURKHARD, L. P. Comparison of two models for predicting bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in a Great Lakes food web. **Environmental Toxicology and Chemistry**, V. 17, n. 3, p. 383-393, 1998.

CAMPOS FILHO, P. C. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando Lógica Fuzzy**. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CARBAJAL-HERNÁNDEZ, J. J. *et al.* Assessment and prediction of air quality using fuzzy logic and autoregressive models. **Atmospheric Environment**, v. 60, p. 37-50, 2012.

CENTRO DE GESTÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS (CGTRQ). Histórico. Disponível em: <<http://www.iq.ufrgs.br/cgtrq/>>. Acesso em: 25/06/2014.

CHANG, C. L. Fuzzy topological spaces. **Journal of Mathematical, Analysis and Applications**, v. 24, p. 182-190, 1968.

CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE – CAS. About CAS. Disponível em: <<https://www.cas.org/about-cas/faqs#whatis>>. Acesso em: 22/02/14.

CHEMICALS ET REAGENTS. Darmstadt: Merck KGaA, 2005-2007.

COMISSÃO NACIONAL DE SEGURANÇA QUÍMICA (CONASQ). **Perfil Nacional da Gestão das Substâncias Químicas**: Resumo Executivo. Brasil, 2003, 15 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de informação de produto químico**: cloreto de mercúrio. Disponível em:

<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=CLORETO%20MERC%DARICO>. Acesso em: 19/12/2013a.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de informação de produto químico:** óxido de mercúrio. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=%D3XIDO%20DE%20MERC%DARIO>. Acesso em: 18/12/2013b.

CAMBOIM, W. L. L.; SILVA, S. A. da.; GOMES, H. P. Aplicação de técnicas Fuzzy no controle de pressão em sistemas de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 67-77, jan/mar. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de informação de produto químico:** iodeto de mercúrio. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp>. Acesso em: 20/12/2013c.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de informação de produto químico:** nitrato de chumbo. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=NITRATO%20DE%20CHUMBO>. Acesso em: 20/12/2013d.

COONEY, J. D. Freshwater tests. In: RAND, G. M. (Ed.) **Fundamentals of aquatic toxicology:** effects, environment fate and risk assessment. 2nd ed. Washington: Taylor & Francis, 1995. p. 71-102.

COPPIN, B. **Artificial intelligence illuminated.** Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers, 2004.

COSTA, C. R. *et al.* A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova on line.** São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1829-1830, 2008.

COX, E. **Fuzzy logic for business and industry.** Massachusetts: Charles River Media, 1995.

DAIYA, S. *et al.* Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. **Journal of Hazardous Materials.** v. 174, p. 938-946, 2007.

DAUGHTON, C. G. Non-regulated water contaminants: emerging research. **Environmental Impact Assessment Review**. v. 24, p. 711-732, 2004.

DAVIES, R. P.; DOBBS, A. J. The prediction of bioconcentration in fish. **Water Research**. Great Britain, v. 18, n. 10, p. 1253-1262, 1984.

DEARDEN, J. C. The QSAR prediction of melting point, a property of environmental relevance. **The science of the Total Environment**. Amsterdam, v. 109-110, p. 59-68, 1991.

DEMICCO, R. V.; KLIR, G. J. **Fuzzy logic in Geology**. New York: Elsevier Academic Press, 2004.

DIVISÃO DE GESTÃO AMBIENTAL – DGA/UFPR. Lista de resíduos perigosos destinados pela DGA, 2011.

DIVISÃO DE GESTÃO AMBIENTAL (DGA). Histórico. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~dga.pcu/historico.htm>>. Acesso em: 17/06/2014.

DUBOIS, D.; PRADE, H. What are fuzzy rules and how to use them. **Fuzzy sets and Systems**, v. 98, p. 169-185, 1996.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Human Health Risk Assessment Protocol: Appendix A-1 – Chemicals of Potential Interest. **Center for Combustion Science and Engineering**, United States, setembro, 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Wastes**: laws e regulations. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/laws-regs/regs-haz.htm>>. Acesso em: 25/10/2013a.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **EPA'S Toxicity Testing of Dispersants**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/bpspill/dispersants-testing.html>>. Acesso em: 20/12/2013b.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Appendix C: Chemical Properties Data**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/dfe/pubs/pwb/ctsa/appc/appc.pdf>>. Acesso em: 20/12/2013c.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY – ECHA. **International Uniform Chemical Information Database (IUCLID)**. Disponível em: <<http://esis.jrc.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 07/01/2014.

EUROPEAN CHEMICAL SUBSTANCES INFORMATION SYSTEM – ESIS. Disponível em: <<http://esis.jrc.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 19/12/2013.

EUROPEAN COMMISSION. **Joint Research Centre**: Institute for Health and Consumer Protection (IHCP). Disponível em: <<http://esis.jrc.ec.europa.eu/index.php?PGM=cla>>. Acesso em: 26/10/2013.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação do destino e bioacumulação de Benzo(A)Pireno através de simulação computacional. **Química Nova on line**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1089-1093, 2008.

GERBASE, A. E. *et al.* Gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova on line**, São Paulo, V. 28, n.1, p. 3, jan./fev., 2005.

GEROLA, A. P. *et al.* Determinação da entalpia de vaporização de líquidos pelo Método do Isotenisópio de Smith e Menzies. **Química Nova on line**, São Paulo, V. 33, n. 2, p. 482-488, 2010.

GOMIDE, F.A.C., GUDWIN, R.R. Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v.4, n.3, p. 97-115, 1994.

GUPTA, M. M.; QI, J. Theory of T-norms and fuzzy inference methods. **Fuzzy Sets and Systems**, North-Holland, v. 40, p. 431-450, 1991.

HARMEL, V. C. **Padronização de um teste de toxicidade crônica com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri* para análise de qualidade de águas superficiais**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

HELFRICH, L. A. *et al.* **Pesticides and aquatic animals**: a guide to reducing impacts on aquatic systems. Virginia State Univerty, Virginia, 2009.

HERRICKS, E. Princípios gerais de toxicologia. In: MATSUI, S; BARRET, B. F. D.; BANERJEE, J. **Gerenciamento de substâncias tóxicas em lagos e reservatórios**. São Carlos: ILEC/IIE, 2002. v. 4, p. 9-30.

HOLT, M. S. Sources of chemical contaminants and routes into the freshwater environment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 38, p. 21-27, 2000.

INSTITUTO ETHOS DE EMPRESAS DE EMPRESAS E RESPONSABILIDADE SOCIAL (INSTITUTO ETHOS). Política Nacional de Resíduos Sólidos: Desafios e oportunidades para as empresas. Grupo de Trabalhos de Resíduos Sólidos. **Fórum Empresarial de Apoio à Cidade de São Paulo**, São Paulo, 2012.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). About IUPAC. Disponível em: <<http://www.iupac.org/home/about.html>>. Acesso em: 22/02/14.

JANÉ, D. A. Uma introdução ao estudo da lógica *fuzzy*. **Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas**, Ourinhos, v. 2, n. 2, p. 1-16, nov. 2004.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova on line**, São Paulo, V. 21, n. 5, p. 671-673, set./out.1998.

KLEMENT, E. P. Characterization of fuzzy measures constructed by means of triangular norms. **Journal of Mathematical, Analysis and Applications**, v. 86, p. 345-358, 1982.

KLIR G. J.; YUAN B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

KRUIJF, H. A. M. de. Whats is Ecotoxicology? In: KRUIJF, H. A. M. de.; ZWART, D. de. (Ed.). **Manual on Aquatic Ecotoxicology**. Dordrecht: Kluwer Academica Publishers:, 1988. p. 18-21.

LAZZAROTTO, D.R. **Avaliação da qualidade de base cartográfica por meio de indicadores e sistema de inferência fuzzy**. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LEBLANC, G. A.; BAIN, L. J. Chronic toxicity of environmental contaminants: sentinels and biomarkers. **Environmental Health Perspectives**, v. 105, p. 65-80, fev. 1997.

LERMONTOV *et al.* Aplicação da lógica nebulosa na parametrização de um novo índice de qualidade das águas. **Engevista**, v. 10, n. 2, p. 106-125, 2008.

LIPNICK, R. L. Narcosis: fundamental e baseline toxicity and mechanism for nonelectrolyte organic chemicals, in KARCHER, W.; DEVILLERS, J. **Practical Applications of Quantitative Structure-Activity Relationships (QSAR) in Environmental Chemistry and Toxicology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. v. 1, p. 281-293.

MALUTTA, C. **Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy**. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através de Geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. 1997. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MEIRELLES, M. S. P. *et al.* Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy. In: SIMPÓSIO BARSILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 2259-2266.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY. **Waste Disposal Guide**: How to properly dispose of waste materials generated at Michigan State University. Michigan, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Agenda 21. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>. Acesso em: 02/09/13.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Comissão Nacional de Segurança Química. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/comissao-nacional>>. Acesso em: 30/10/2014.

MIZUMOTO, M.; TANAKA, K. Fuzzy sets and their operations. **Information and Control**, v. 48, p. 30-48, 1981.

MOORE, M. N. *et al.* An integrated biomarker-based strategy for ecotoxicological evaluation of risk in environmental management. **Mutation Research**, v. 552, p. 247-268, ago 2004.

MUSEE, N.; LORENZEN, L.; ALDRICH, C. New methodology for hazardous waste classification using fuzzy set theory: Part I. Knowledge acquisition. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, p. 1040-1051, 2008a.

MUSEE, N.; LORENZEN, L.; ALDRICH, C. New methodology for hazardous waste classification using fuzzy set theory: Part II. Intelligence decision support system. **Journal of Hazardous Materials**, v. 157, p. 94-105, 2008b.

NASR, A. S.; REZAEI, M.; BARMAKI, M. D. Groundwater contamination analysis using Fuzzy Water Quality index (FWQI): Yazd province, Iran. **JGeope**, v. 3, n. 1, p. 47-55, 2013.

NOLASCO, F. R.; TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de programa de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 118-124, abr/jun 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL (ONU BRASIL). A ONU e o meio ambiente. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 02/09/2013.

ORTEGA, N.R.S. **Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina**. 152 f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OVCHINNIKOV, S. V. General negations in fuzzy set theory. **Journal of Hazardous Materials**, v. 92, p. 234-239, 1993.

PARAÍBA, L. C.; CARRASCO, J. M.; BRU, R. Level IV fugacity model by a continuous time control systems. **Chemosphere**, V. 38, p. 1763-1775, 1999.

PEDRYCZ, W. **Fuzzy Control and Fuzzy Systems**. New York: John Wiley and Sons Inc, 1989.

PINA, M. V. C. F. **A gestão dos resíduos químicos dos laboratórios escolares – Um projecto educacional e ambiental**. 187 f. Dissertação (Mestrado em Química para o Ensino) – Departamento de Química e Bioquímica da Universidade de Lisboa, Portugal, 2009.

PORTO, M. M.; COSENZA, C. A. N. Arquitetura industrial: Uma estrutura modelada pelos parâmetros espaciais ambientais. **PROARQ 1**, Rio de Janeiro, p. 1-24, set. 1997.

QUÍMICA ESPECIALIZADA ERICH LTDA – QEEL. **Ficha de informação de segurança do produto químico**: cloreto de mercúrio. Disponível em: <<http://www.qeelquimica.com.br/fispqs/FISPQ%20Cloreto%20de%20Mercurio%20ICO.pdf>>. Acesso em: 19/12/2013a.

QUÍMICA ESPECIALIZADA ERICH LTDA – QEEL. **Ficha de informação de segurança do produto químico**: cloreto de mercúrio. Disponível em: <<http://www.qeelquimica.com.br/fispqs/FISPQ-%20Iodeto%20de%20Mercurio.pdf>>. Acesso em: 18/12/2013b.

RAMAN, B. V.; BOUWMEESTER, R.; MOHAN, S. Fuzzy Logic Water Quality Index and Importance of Water Quality Parameters. **Air, Soil and Water Research**, v. 2, p. 51–59, 2009.

RIDGWAY, B. Environmental management system provides tools for delivering on environmental impact assessment commitments. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 23, n. 4, p. 325-331, dez. 2005.

RODRIGUES, J. A. R. Recomendações da IUPAC para a nomenclatura de moléculas orgânicas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 13, p. 22-28, maio, 2001.

ROUBOS, J. A. *et al.* Fuzzy model-based predictive control using Takagi-Sugeno models. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 22, p. 3-30, 1999.

SAVELY, S. M.; CARSON, A. I.; DELCLOS, G. L. An environmental management system implementation model for U.S. colleges and universities. **Journal of Cleaner Production**, 2007;v.15, p. 660-670.

SCHÜÜRMAN, G. *et al.* Predicting fate-related physicochemical properties. In: LEEUWENN, C. J. van.; VERMEIRE, T. G. **Risk assessment of chemicals: An introduction**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007. p. 375-426.

SEBASTIAN, S.; PHILIP, J. I-fuzzification of fuzzy sets. **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences**, v. 4, n. 3, p. 2519-2523, mai/jul. 2014.

SHAW, I. C.; CHADWICK, J. **Principles of environmental toxicology**. Philadelphia: Taylor & Francis, 1998.

SIGMA-ALDRICH. **Ficha de dados de segurança**: óxido de mercúrio. Disponível em:
<[http://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Oxido%20de%20mercurio\(II\)%20vermelho.pdf](http://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Oxido%20de%20mercurio(II)%20vermelho.pdf)>
. Acesso em: 19/12/2013b.

SIGMA-ALDRICH. **Ficha de dados de segurança**: cloreto de cromo III. Disponível em:
<<http://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Cloreto%20de%20cromio%20III.pdf>>. Acesso em: 22/12/2013c.

SILVA, L. R.; FERREIRA, M. M. C. Estudo do coeficiente de partição octanol-água de bifenilas policloradas (PCBs) utilizando parâmetros topológicos. **Química Nova on line**, São Paulo, V. 26, n. 3, p. 312-318, mai./jun. 2003.

SILVER, W. Fuzzy indices of environmental conditions. **Ecological Modelling**, v. 130, p. 111-119, 2000.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1999.

SOROUSH, F.; MOUSAVI, S. F.; GHARECHAHI, A. A fuzzy industrial water quality index: case study of Zayandehrud river system. **Transactions of Civil and Environmental Engineering**, v. 35, n.1, p. 131-136, 2011.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SIGMA-ALDRICH. **Ficha de dados de segurança**: cloreto de mercúrio.

Disponível em: <

<http://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Cloreto%20de%20mercurio%20II.pdf>>. Acesso em: 19/12/2013a.

SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS. **Ficha de segurança do produto**

químico: ácido clorídrico. Disponível em:

<<http://www.superquimica.com.br/fispq/1321632948.pdf>>. Acesso em: 23/01/2014a.

SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS. **Ficha de segurança do produto**

químico: ácido sulfúrico. Disponível em:

<<http://www.superquimica.com.br/fispq/1321632569.pdf>>. Acesso em: 23/01/2014b.

SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS. **Ficha de segurança do produto**

químico: ácido fluorídrico. Disponível em:

<<http://www.superquimica.com.br/fispq/1304347542.pdf>>. Acesso em: 24/01/2014c.

SUSTAINABLE UNIVERSITIES INITIATIVE (SUI). Disponível em:

<<http://www.sc.edu/sustainableu/InitiativeDescription.htm>>. Acesso em: 01/07/2014.

TOLEDO, O. M.; COSENZA, C. A. N. Um caso de aplicação da Lógica *Fuzzy* – o Modelo Coppe-Cosenza de Hierarquia *Fuzzy*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Minas Gerais: ABEPRO, 2003. p. 09-16.

UNIÃO EUROPEIA. Parlamento e Conselho Europeu. Regulamento (CE) n. 1272/2008, de 16 de dezembro de 2008. **Jornal Oficial da União Europeia**, 31 dez. 2008. Série L353, p. 1-1355.

UNIVERSIDADE DE BLUMENAU (FURB). Gestão Ambiental. Disponível em:

<<http://www.furb.br/web/1655/institucional/gestao-ambiental/apresentacao>>. Acesso em: 25/06/2014.

UNIVERSIDADE POSITIVO. Disponível em:
<<http://www.up.com.br/LandpageInterna.aspx?c=5434&i=21>>. Acesso em:
25/06/2014.

UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). Sistema de Gestão Ambiental da UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/sga/sistema-de-gestao-ambiental-da-ufrgs-1>>. Acesso em: 25/06/2014.

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS). SGA Unisinos. Disponível em: <<http://www.unisinos.br/institucional/meio-ambiente/sga-unisinos>>. Acesso em: 25/06/2014.

VERHAAR, H. J. M.; LEEUWEN, C. J. V.; HERMENS, J. L. M. Classifying environmental pollutants. 1: Structure-activity relationships for prediction of aquatic toxicity. **Chemosphere**, Great Britain, v. 25, n. 4, p. 471-491, 1992.

VIEBAHN, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. **Journal of Cleaner Production**, fevereiro 2002. v. 10, p. 3-12.

WALUM, E. Acute oral toxicity. **Environmental Health Perspectives**, v. 106, p. 497-503, abr. 1998.

YAGER, R. R. Connectives e quantifiers in fuzzy sets. **Fuzzy sets and Systems**, v. 40, p. 39-75, 1991.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. **Information Sciences**, v. 8, n. 3, p. 199-249, 1975.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets as a basis for theory of possibility. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 1, p. 3-28.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic, neural networks and soft computing. **Fuzzy Systems**, v. 37, n. 3, p. 77-84, 1994.

ZADEH, L. A. Fuzzy logic = Computing if with words. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 4, n. 2, p. 103-11, mai. 1996.

ZADEH, L. A. A new direction in AI – toward a computational theory of perceptions. **AI Magazine**, v. 22, n. 1, p. 73–84, 2001.

ZADEH, L. A. From computing with numbers to computing with words – from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. **International Journal of Applied Mathematics and Computer Science**, v. 12, n. 3, p. 307-324, 2002.

ZADEH, L. A. Is there a need for fuzzy logic? **Information Sciences**, v. 178, p. 2751-2779, 2008.

ZANELATTO, R. C. Diagnóstico de resíduos da UFPR. **Divisão de Gestão Ambiental; Prefeitura da Cidade Universitária; Pró-Reitora de Administração**, Curitiba, 2009. Disponível em:
<<http://people.ufpr.br/~dga.pcu/DIAGNOSTICO%20RESIDUOS%20UFPR.pdf>>.
Acesso em: 22/08/2013.

ANEXO

LISTA DE RESÍDUOS PERIGOSOS DA DGA/UFPR DE 2011

Acetanilida	Acetato de cobre	Acetato de etila	Acetato de sódio
Acetona	Acetona p.a.	Acetonitrila	Ácido acético
Ácido acético 10%	Ácido acetilsalicílico - AAS	Ácido benzoico p.a	Ácido benzoico
Ácido bórico	Ácido clorídrico	Ácido clorídrico diluído	Ácido clorídrico 0,1 mol/L
Ácido clorídrico 10%	Ácido clorídrico concentrado	Ácido fluorídrico	Ácido fluorídrico diluído
Ácido fluorídrico 1%	Ácido fluorídrico 10%	Ácido fúlvico 10%	Ácido húmico
Ácido húmico diluído	Ácido húmico 10%	Ácido nítrico 85%	Ácido nítrico concentrado
Ácido nítrico 10%	Ácido nítrico diluído	Ácido salicílico	Ácido Sulfúrico
Ácido sulfúrico concentrado	Ácido Sulfúrico 10%	Álcool isopropílico	Álcool t-butílico
Álcool t-butílico p.a	Aldeídos	Aldeído benzoico	Alumínio
Amônia	Amônia 10%	Anidrido acético	Anidrido ftálico
Aspirina	Bentonita	Bicarbonato de sódio (solução saturada)	Biodiesel
Boro hidróxido 10%	Bromo 5%	Butanol	Cádmio
Cal	Calcário	Carbonato de sódio	Catalisador resina poliéster
Celite	Chumbo metálico	Cianeto de sódio	Ciclohexano
Cloreto de bário	Cloreto de cálcio	Cloreto de cobre II	Cloreto de cromo III
Cloreto de mercúrio	Cloreto de mercúrio II	Cloreto de zinco	Clorofórmio
Cobre	Diclorometano	Diesel	Dibenzalacetona
Dicromato de sódio	Dimetilformamida	Dimetil sulfoxido	Dinitrosalicilato de sódio
Dióxido de selênio	Enxofre	Estanho	Estrôncio (pó)
Étanol	Éter etílico	Éter de petróleo	Fenol
Fenol diluído	Ferro (pó)	Formamida	Furfuraldeído
Heptano	Hexano	Hidróxido de chumbo	Hidróxido de cobre
Hidróxido de potássio	Hidróxido de sódio	Hidróxido de sódio 1:1	Hidróxido de sódio 20%
Hidróxido de sódio 50%	Hidróxido de telúrio 10%	Hidróxido de zinco	Iodeto de mercúrio
Iodeto de potássio	Iodo	Lítio	Manganês (pó)
Metanol	Metanol p.a	Naftaleno	NBrSuccinimida 1%

Conclusão.

N-bromosuccinimida	Níquel (pó)	Nitratos de cálcio	Nitrato de chumbo
Nitrato de prata	Nitrato de sódio	o-cresol	Óxido de ferro
Oxido de mercúrio	Oxido de selênio	Oxido de selênio diluído	P-cresol
Piridina	Pirofosfato 20%	Pirofosfato de sódio	P-nitroacetanilida
P-nitroanilina	Poliestireno	Polifluoreno	Polipropileno
Potássio	Sílica	Sódio	Sulfato de cobre 10%
Sulfato de cobre	Sulfato de selênio	Sulfato de sódio	Sulfato telúrio 10%
Sulfeto de sódio	Tartarato de potássio	Tertiofeno	Tetrahidrofurano
Tetrahidrofurano diluído	Tilico	Tolueno	Tolueno p.a.
Vanadio (pó)	Xileno	Zinco (pó)	

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – LEVANTAMENTO DOS DADOS QUALITATIVOS.....	115
APÊNDICE 2 – NORMALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	125
APÊNDICE 3 – REGRAS DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	135
APÊNDICE 4 - ESTRUTURA PARA CLASSIFICAÇÃO IMPLEMENTADA NO MATLAB®	145

APÊNDICE 1

LEVANTAMENTO DOS DADOS QUALITATIVOS

METAIS TÓXICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Cloreto de mercúrio (HgCl ₂)	Nome IUPAC:	<i>Mercury dichloride</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	7487-94-7	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	1,250 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	74 g/l (20 °C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	0.01 hPa (20 °C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	280.7 °C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	3.2 (15 g/l, H ₂ O)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não é inflamável	CETESB, 2013a.
	Reatividade	Não reage com água	CETESB, 2013a.
	DL 50 oral	DL50 ratazana 1 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007
	Toxicidade em peixes	<i>L.idus</i> LC50: 0,13 mg / l / 96h 96,0 h	QEEL, 2013a.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CE50 - <i>Daphnia magna</i> - 0,002 mg/l - 48 h	SIGMA-ALDRICH, 2013a.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	10.000	CETESB, 2013a.
Óxido de Mercúrio (HgO)	Nome IUPAC:	<i>Mercury monoxide</i>	ESIS, 2013
	Nº CAS:	21908-53-2	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	1 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (25°C):	0.052 g/l	QEEL, 2013a.
	Pressão de vapor (20°C):	0.12 Pa (20 C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	>400 C (decomposição)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	6-7 (50g/l, H ₂ O, 20 C) (pasta)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não aplicável	SIGMA-ALDRICH, 2013b.
	Reatividade	x	x

Continua.

RESÍDUO	METAIS TÓXICOS		
	DADOS		CITAÇÕES
Óxido de Mercúrio (HgO)	DL 50 oral	DL50 ratazana 18 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	x	x
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	x	x
	Potencial de bioconcentração (BCF)	10.000	CETESB, 2013b.
Iodeto de mercúrio (HgI ₂)	Nome IUPAC:	<i>Mercury diiodide</i>	ESIS, 2013
	Nº CAS:	7774-29-0	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	1 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (25°C):	0.06 g/l	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (80°C):	0.006 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	259 C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	6-7 (50 g/l, H ₂ O, 20 C) (pasta)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não é inflamável	CETESB, 2013b.
	Reatividade	Não reage com água	CETESB, 2013b.
	DL 50 oral	DL50 ratazana 18 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	<i>L. idus</i> LC50: 0,13 mg / l / 96 h	QEEL, 2013b.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	x	x
Potencial de bioconcentração (BCF)	10.000	CETESB, 2013b.	
Chumbo metálico (Pb)	Nome IUPAC:	Lead	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Nº CAS:	7439-92-1	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	0,001 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	Insolúvel	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (973°C):	1.33 hPa	ECHA, 2014.
	Ponto de fusão:	327 C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	Não aplicável	ECHA, 2014.
	Valor de pH	x	x
	Inflamabilidade	Não inflamável	ECHA, 2014.

Continua.

RESÍDUO	METAIS TÓXICOS		
	DADOS		CITAÇÕES
Chumbo metálico (Pb)	Reatividade	x	X
	LD 50 oral	x	X
	Toxicidade em peixes	Não aplicável - insolúvel em água	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	Não aplicável - insolúvel em água	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	3.000	ECHA, 2014.
Nitrato de chumbo ((Pb(NO ₃) ₂))	Nome IUPAC:	<i>Lead dinitrate</i>	ESIS, 2013
	Nº CAS:	10099-74-8	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	1 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	522 g/l (20 °C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	Baixo (20°C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	458-459°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	3 - 4 (50 g/l, H ₂ O, 20 °C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não é inflamável	CETESB, 2013d.
	Reatividade	Não reage com água	CETESB, 2013d.
	DL 50 oral	x	x
	Toxicidade em peixes	x	x
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	x	x
	Potencial de bioconcentração (BCF)	x	x
Cloreto de cromo III (CrCl ₃)	Nome IUPAC:	<i>Chromium trichloride</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	10025-73-7	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	1,250 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	Levemente solúvel	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	x	x
	Ponto de fusão:	1152 C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	x	x
	DL50 oral	DL50 ratazana 1870 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.

Continua.

RESÍDUO	METAIS TÓXICOS		
	DADOS		CITAÇÕES
Cloreto de cromo III (CrCl ₃)	Toxicidade em peixes	x	x
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CE50 - <i>Daphnia magna</i> - 9,108 mg/l - 48 h	SIGMA-ALDRICH, 2013c.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	x	x
Dicromato de sódio (Na ₂ Cr ₂ O ₇)	Nome IUPAC:	<i>Sodium dichromate</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	10588-01-9	ESIS, 2013.
	Quantidade	540 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	2355 g/l (20 °C)	ECHA, 2014
	Pressão de vapor (20°C):	x	x
	Ponto de fusão:	356.7 °C	ECHA, 2014
	Coefficiente de partição o/w:	x	x
	Valor de pH	3.5 (100 g/l, H ₂ O, 20 °C)	ECHA, 2014
	Inflamabilidade	Não inflamável	ECHA, 2014
	Reatividade	x	x
	DL 50 oral	DL50 ratazana 50 mg/kg	ECHA, 2014
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CE50 - <i>Daphnia magna</i> - 1.4 mg/l - 24 h	ECHA, 2014
	Potencial de bioconcentração (BCF)	x	x
Cádmio (pó) (Cd)	Nome IUPAC:	<i>Cadmium</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	7440-43-9	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	0,100 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	Insolúvel	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.

Conclusão.

RESÍDUO	METAIS TÓXICOS		
	DADOS		CITAÇÕES
Cádmio (pó) (Cd)	Pressão de vapor (394°C):	1.3 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	321°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	Não aplicável	ECHA, 2014.
	Valor de pH	x	x
	Inflamabilidade	Difícilmente inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade	x	x
	DL 50 oral	DL50 ratazana 225 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	Não aplicável - insolúvel em água	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	Não aplicável - insolúvel em água	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	3.000	ECHA, 2014.

RESÍDUO	ÁCIDOS INORGÂNICOS		
	DADOS		CITAÇÕES
Ácido clorídrico (HCl)	Nome IUPAC:	<i>Hydorgen chloride</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	7647-01-0	ESIS, 2013.
	Quantidade	6,050 L	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	721 g/L	ECHA, 2014.
	Pressão de vapor (20°C):	21.3 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	-40°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	logPow 0.25	ECHA, 2014.
	Valor de pH	X	X
	Inflamabilidade	Não inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade	Água	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014a.
	DL 50 oral	700 mg/Kg - ratazana	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014a.
	Toxicidade em peixes	CL50 862 mg/L - <i>Leuciscus idus</i> - 48H	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014a.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CL50 0,492 mg/L - <i>Daphnia magna</i> - 48H	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014a.
Potencial de bioconcentração (BCF)	Não bioacumulação	ECHA, 2014.	

Continua.

ÁCIDOS INORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Ácido sulfúrico (100%) (H ₂ SO ₄)	Nome IUPAC:	<i>Sulfuric acid</i>	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Nº CAS:	7664-93-9	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	3,760 L	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	Solúvel	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	0.0001 hPa	ECHA, 2014.
	Ponto de fusão:	10,5°C	ECHA, 2014.
	Coefficiente de partição o/w:	LogPow-2.20	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014b.
	Valor de pH	0,3 (49g/l de água a 25°C)	BRASINTER PRODUTOS QUÍMICOS, 2014.
	Inflamabilidade	Não inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade	Reage com a água, liberando calor	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	DL 50 oral	DL 50 ratazana 2140 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	x	x
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	<i>Daphnia magna</i> - CE50= 29 mg/l - 24 H	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	3.16	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014b.
Ácido nítrico 100% (HNO ₃)	Nome IUPAC:	<i>Nitric acid</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	7697-37-2	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	3,400 L	DGA (2011)
	Massa molar:	63.01 g/mol	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Solubilidade em água (20°C):	Solúvel (desenvolvimento de calor)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	56 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	-42°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coefficiente de partição o/w:	logPow -2.3 à 25°C	ECHA, 2014.
	Valor de pH	<-1 (H ₂ O, 20°C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade	Solúvel (desenvolvimento de calor)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	DL 50 oral	x	X

Continua.

ACIDOS INORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Ácido nítrico 100% (HNO ₃)	Toxicidade em peixes	X	X
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	<i>Daphnia Sp.</i> - CE50= 107 mg/l	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	Não é bioacumulável	ECHA, 2014.
Ácido Fluorídrico (HF)	Nome IUPAC:	<i>Hydrogen fluoride</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	7664-39-3	ESIS, 2013.
	Quantidade	4,000 L	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	719.8 g/L	ECHA, 2014.
	Pressão de vapor (20°C):	157 hPa	ECHA, 2014.
	Ponto de fusão:	-83.1°C	ECHA, 2014.
	Coeficiente de partição o/w:	Log Pow -1.4	ECHA, 2014.
	Valor de pH	Fortemente ácido	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014c.
	Inflamabilidade	Não é inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade	Não reage com água	ECHA, 2014.
	DL 50 oral	25 mg/kg	SUPERQUÍMICA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014c.
	Toxicidade em peixes	<i>Leuciscus idus</i> - CL50 - 660 mg/L - 48H	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	<i>Daphnia sp.</i> - CE50 270 mg/L - 48H	ECHA, 2014.
Potencial de bioconcentração (BCF)	x	x	
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	Nome IUPAC:	<i>ortho-boric acid</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	10043-35-3	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	500 g	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	50 g/l	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (20°C):	2.7 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	185°C (decomposição)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	logPow -0.757 à 25°C	ECHA, 2013.
	Valor de pH	3.8 - 4.8 (33 g/l, H ₂ O a 20°C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	Não inflamável	EPA, 2013c.
	Reatividade	X	X

Conclusão.

ÁCIDOS INORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	DL 50 oral	ratazana 2660 mg/kg	ECHA, 2014.
	Toxicidade em peixes	<i>Carassius auratus</i> - CL50 1.02 g/l - 3 dias	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	<i>Daphnia magna</i> - CE50 658 - 875 mg/l - 48 H	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> - 34 mg/l - 90 dias à 12°C	ECHA, 2014.

ÁCIDOS ORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Ácido benzoico (C ₇ H ₆ O ₂)	Nome IUPAC:	<i>Benzoic acid</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	65-85-0	ESIS, 2013.
	Quantidade	1,500 L	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	2.9 g/l	ECHA, 2014.
	Pressão de vapor (20°C):	1.3 Pa ou 0.0011 hPa	ECHA, 2014.
	Ponto de fusão:	121-123°C	ECHA, 2014.
	Coefficiente de partição o/w:	logPow 1.88	ECHA, 2014.
	Valor de pH:	3.1 (1 g/L, H ₂ O, 20°C)	ECHA, 2014.
	Inflamabilidade:	Não aplicável	ECHA, 2014.
	Reatividade:	Não avaliável	ECHA, 2014.
	DL 50 oral	1700 mg/Kg - ratazana	ECHA, 2014.
	Toxicidade em peixes	LC50 460 mg/L - <i>Leuciscus idus</i> - 48H	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CE50 1540 mg/L - <i>Daphnia magna</i> - 24H	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	Não bioacumulável	ECHA, 2014.
Acido salicílico (C ₇ H ₆ O ₃)	Nome IUPAC:	<i>Salicylic acid</i>	x
	Nº CAS:	69-72-7	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade:	0,100 Kg	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	2 g/l	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (100°C):	x	x

Continua.

ACIDOS ORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS		CITAÇÕES
Acido salicílico (C ₇ H ₆ O ₃)	Ponto de fusão:	157 - 159°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	LogPow 2.26	ECHA, 2014.
	Valor de pH	2.4 (H ₂ O) - solução saturada	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade	x	x
	Reatividade	Não reage	ECHA, 2014.
	DL 50 oral	ratazana 1250 - 1580 mg/kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	<i>Leuciscus idus</i> - LC50 90 mg/l - 48 H	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	<i>Daphnia magna</i> CE50 230 mg/l - 24 H	ECHA, 2014.
	Potencial de bioconcentração (BCF)	1.000	ECHA, 2014.
Acido acético (C ₂ H ₄ O ₂)	Nome IUPAC:	<i>Acetic acid</i> (99-100%)	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	64-19-7	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	2,510 L	DGA, 2011.
	Solubilidade em água (20°C):	2.5 a 50 g/L	ECHA, 2014.
	Pressão de vapor (20°C):	15.4 hPa	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Ponto de fusão:	17°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	LogPow -0.31	ECHA, 2014.
	Valor de pH:	2.5 (50 g/L, H ₂ O, 20°C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade:	Inflamável	ECHA, 2014.
	Reatividade:	Não reage à água	ECHA, 2014.
	DL 50 oral	3310 mg/Kg - ratazana	ECHA, 2014.
	Toxicidade em peixes	410 mg/L - <i>Leuciscus idus melanotus</i> - 48H	ECHA, 2014.
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	CE50 95 mg/L - <i>Daphnia magna</i> - 24H	ECHA, 2014.
Potencial de bioconcentração (BCF)	x	x	

Conclusão.

ACIDOS ORGÂNICOS			
RESÍDUO	DADOS	CITAÇÕES	
AAS - Ácido acetilsalicílico (C ₉ H ₈ O ₄)	Nome IUPAC:	<i>Acetylsalicylic acid</i>	ESIS, 2013.
	Nº CAS:	50-78-2	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Quantidade	0,600 Kg	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Solubilidade em água (20°C):	3,3 g/l	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Pressão de vapor (25°C):	0,000335 hPa	ECHA, 2014
	Ponto de fusão:	136°C	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Coeficiente de partição o/w:	LogPow 1.19	ECHA, 2014
	Valor de pH:	3,5 (2,5 g/L, H ₂ O, 20°C)	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Inflamabilidade:	x	X
	Reatividade:	x	X
	DL 50 oral	1124 mg/Kg ratazana	CHEMICALS ET REAGENTS, 2005-2007.
	Toxicidade em peixes	LC0 > 1000 - <i>Leuciscus idus</i> - 48H	ECHA, 2014
	Toxicidade em invertebrados aquáticos	>100 - <i>Daphnia magna</i> - 48H	ECHA, 2014
	Potencial de bioconcentração (BCF)	Baixo	ECHA, 2014.

APÊNDICE 2

NORMALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO ln
Ln (Quantidade)	0,01	-4,605
	0,100	-2,303
	0,600	-0,511
	2,100	0,742
	6,100	1,808
	14,000	2,639
	540,000	6,292

QUADRO 1 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA QUANTIDADE

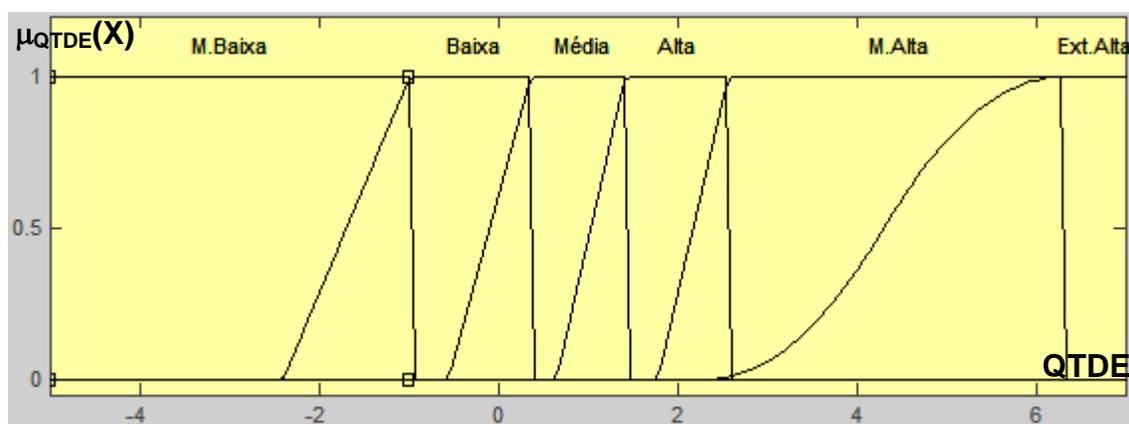


FIGURA 1- FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA QUANTIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO ln
Ln (Solubilidade)	0	- Infinito
	1	0
	3	1,099
	10	2,303
	100	4,605
	>100	+Infinito

QUADRO 2 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA SOLUBILIDADE

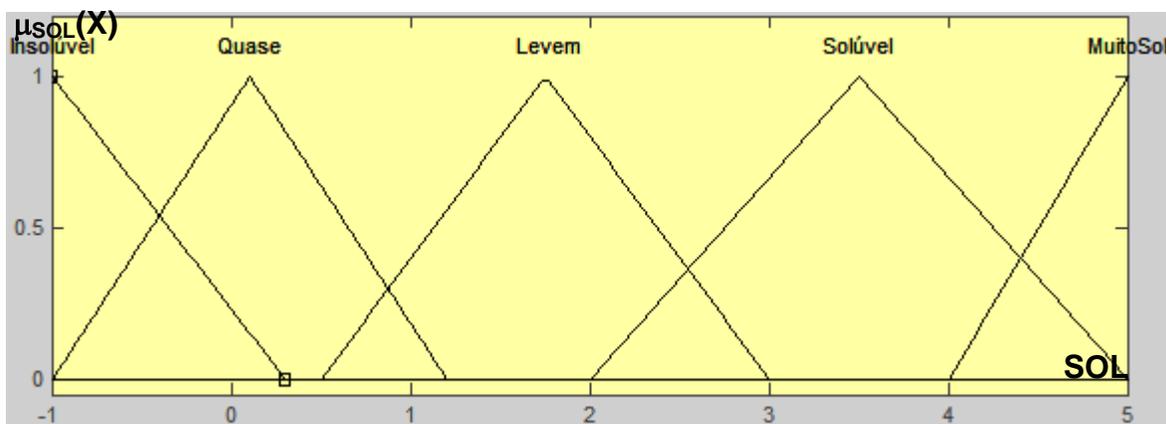


FIGURA 2- FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA SOLUBILIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO In
Ln (Pressão de Vapor)	0	- Infinito
	10	2.303
	100	4,605
	1000	6,908
	>1000	+ Infinito

QUADRO 3 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA PRESSÃO DE VAPOR

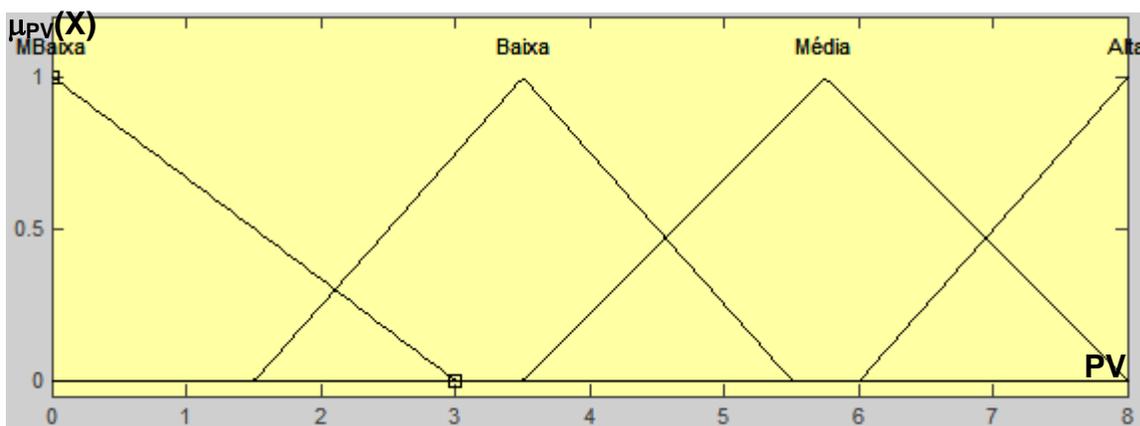


FIGURA 3 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA PRESSÃO DE VAPOR

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Ponto de Fusão	-100	X
	0	X
	25	X
	200	X
	500	X

QUADRO 4 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO PONTO DE FUSÃO

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

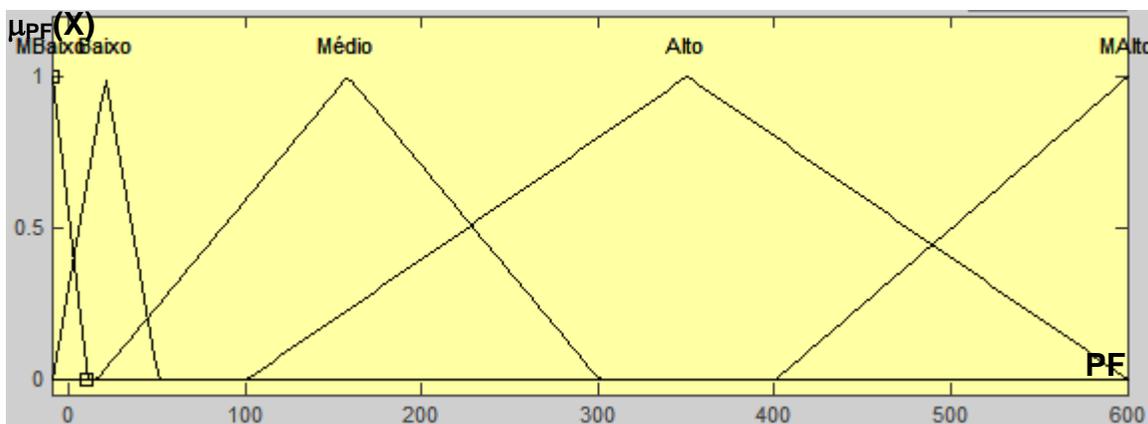


FIGURA 4 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO PONTO DE FUSÃO

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES (Log)	TRANSFORMAÇÃO*
Coeficiente de partição LogPow	-5	X
	0	X
	2	X
	5	X

QUADRO 5 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO COEFICIENTE DE PARTIÇÃO

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

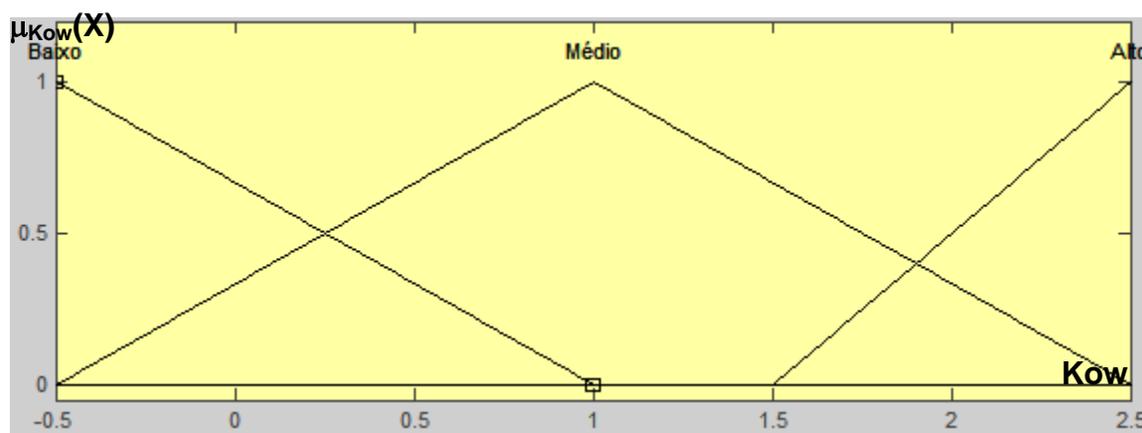


FIGURA 5 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO COEFICIENTE DE PARTIÇÃO

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Corrosividade	-5	X
	2	X
	6	X
	8	X
	12	X
	12,5	X
	14	X

QUADRO 6 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA CORROSIVIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada

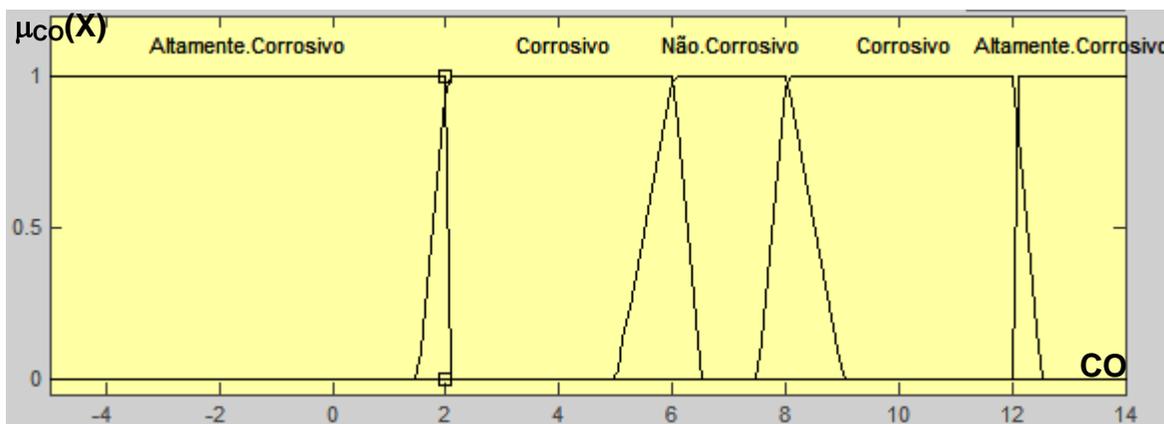


FIGURA 6 – FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA CORROSIVIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Inflamabilidade	(0,4 – 1)	X
	(0,1 – 0,5)	X
	(0 – 0,2)	X

QUADRO 7 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA INFLAMABILIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

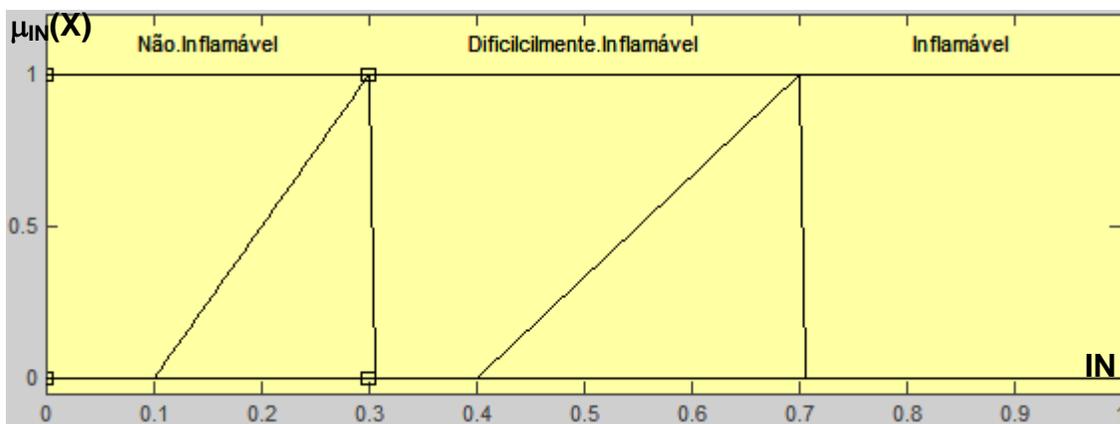


FIGURA 7 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA INFLAMABILIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Reatividade	1	X
	0	X

QUADRO 8 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA REATIVIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

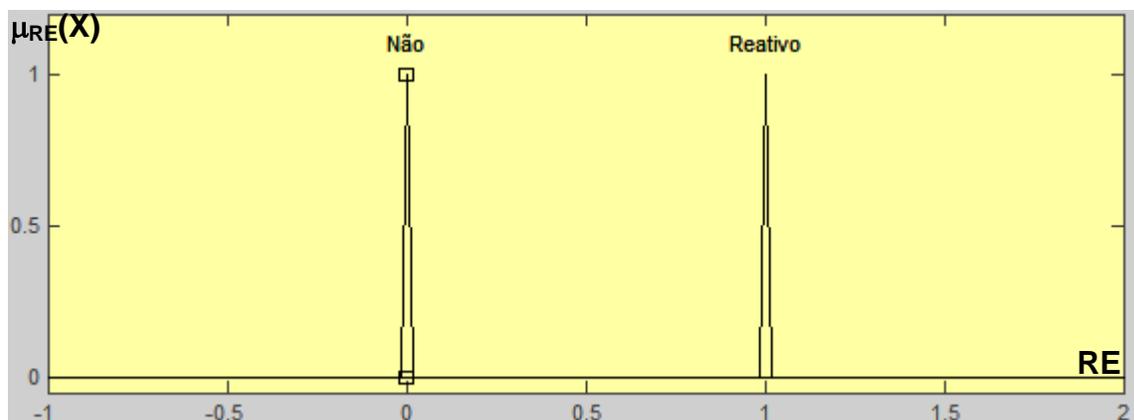


FIGURA 8 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA REATIVIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO In
Ln (Toxicidade Oral)	0	- Infinito
	25	3,219
	200	5,298
	2000	7,601
	>2000	+ Infinito

QUADRO 9 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA TOXICIDADE ORAL

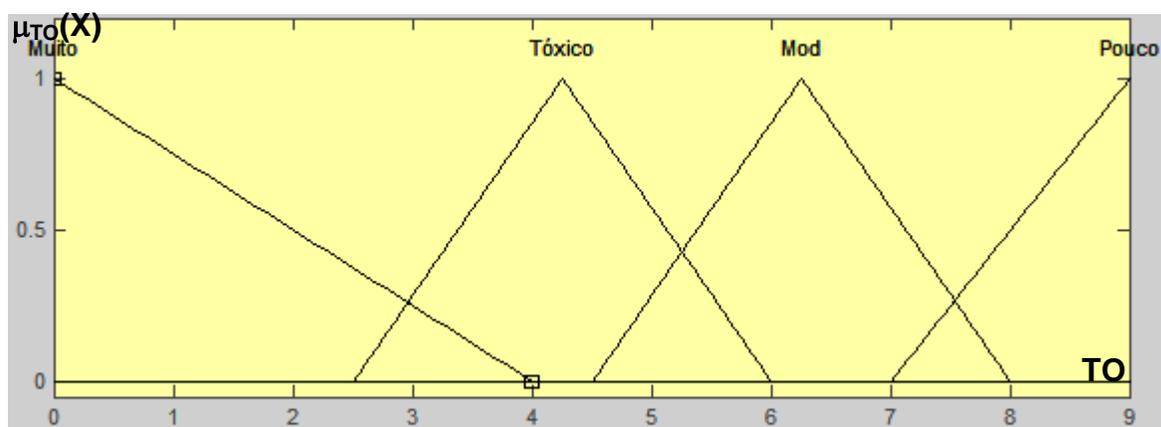


FIGURA 9 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA TOXICIDADE ORAL

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO In
Ln (Toxicidade Peixes)	0	- Infinito
	0,1	-2,303
	1	0
	10	2,303
	100	4,605
	>100	+ Infinito

QUADRO 10 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA TOXICIDADE EM PEIXES

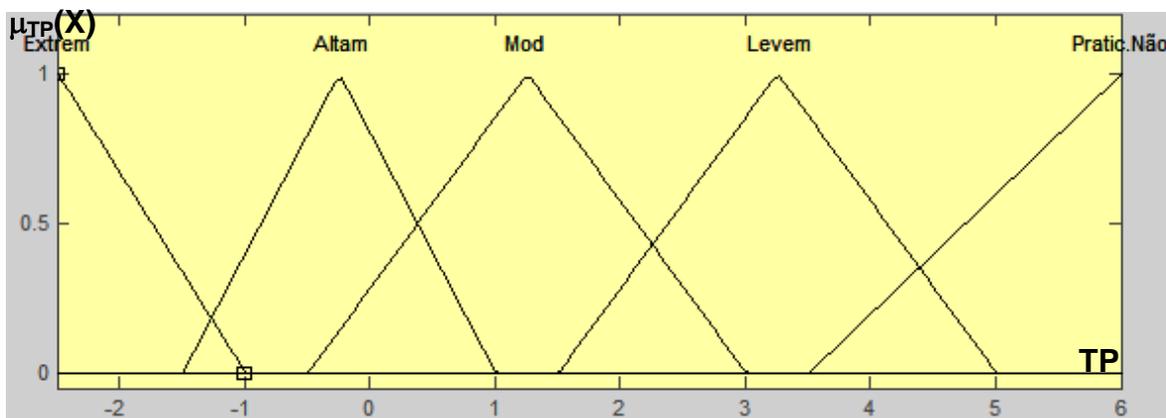


FIGURA 10 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA TOXICIDADE EM PEIXES

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO In
Ln (Toxicidade Invertebrados aquáticos)	0	- Infinito
	0,1	-2,303
	1	0
	10	2,303
	100	4,605
	>100	+ Infinito

QUADRO 11 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA TOXICIDADE EM INVERTEBRADOS AQUÁTICOS

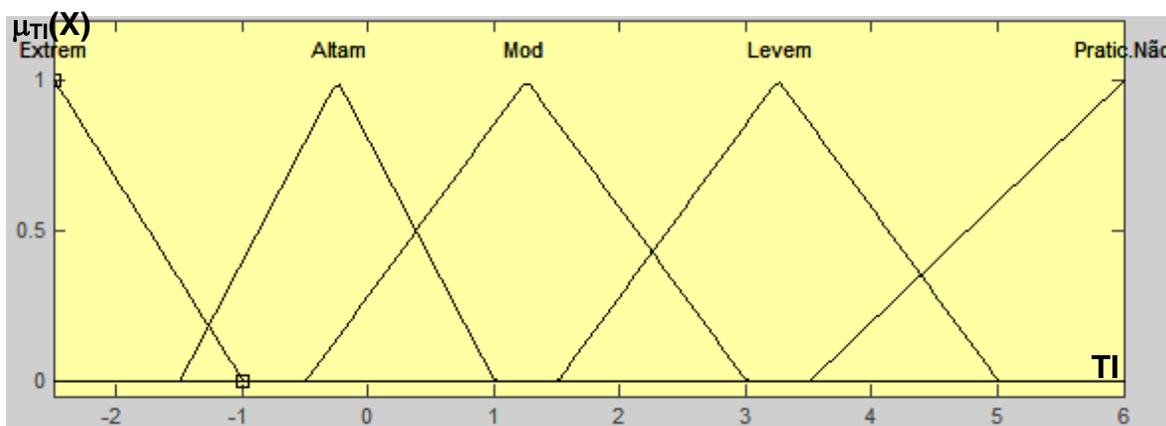


FIGURA 11 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA TOXICIDADE EM INVERTEBRADOS AQUÁTICOS

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO In
Ln (Fator de Bioconcentração)	0	- Infinito
	1	0
	10	2,303
	100	4,605
	1000	6,908
	>1000	+ Infinito

QUADRO 12 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO

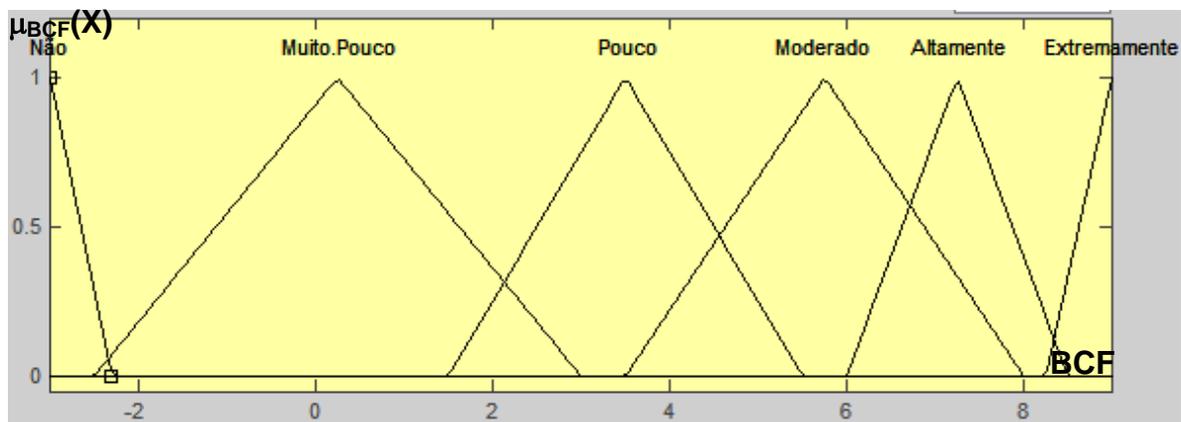


FIGURA 12 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Efeito Físico-Químico	0 - 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 13 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO EFEITO FÍSICO-QUÍMICO

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

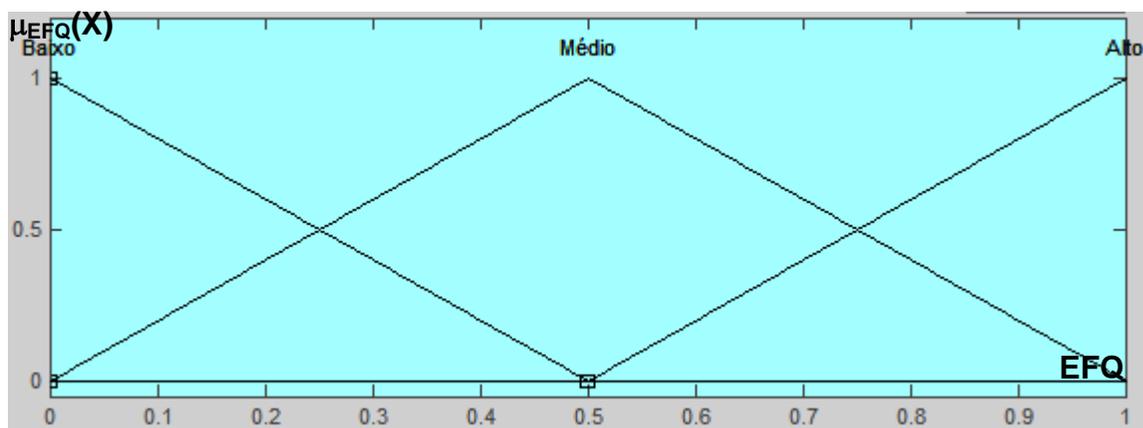


FIGURA 13 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO EFEITO FÍSICO-QUÍMICO

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Potencial de Exposição	0 - 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 14 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO POTENCIAL DE EXPOSIÇÃO

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

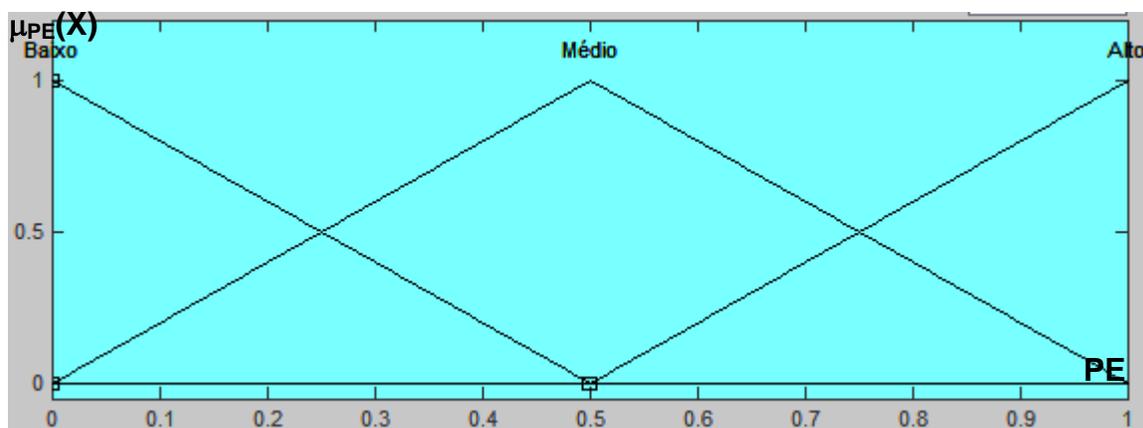


FIGURA 14 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO POTENCIAL DE EXPOSIÇÃO

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Ecotoxicidade	0 – 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 15 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA ECOTOXICIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

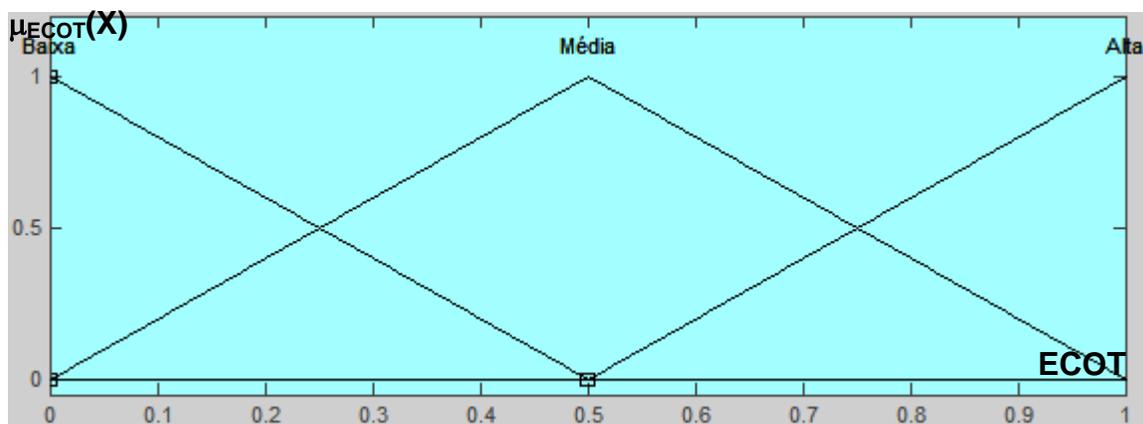


FIGURA 15 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA ECOTOXICIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Toxicidade	0 – 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 16 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DA TOXICIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

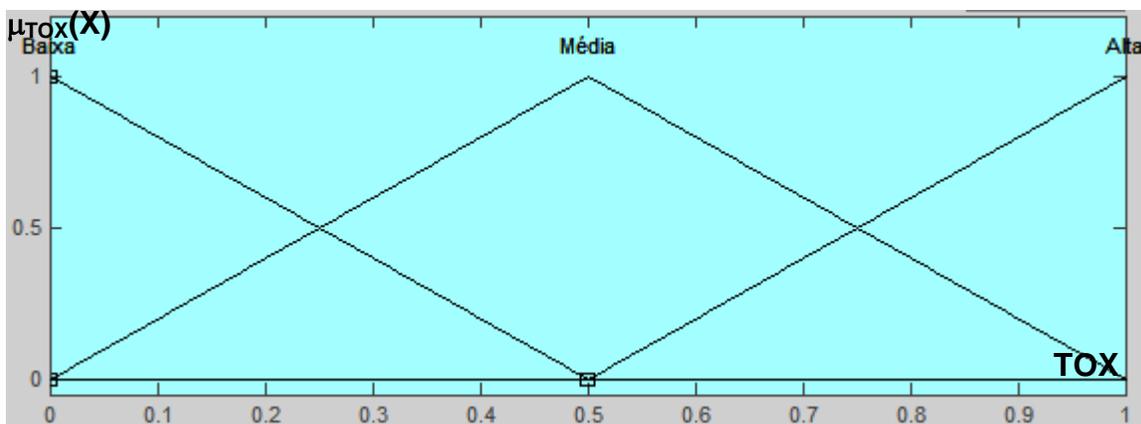


FIGURA 16 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DA TOXICIDADE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Efeito no Meio Ambiente	0 - 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 17 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO EFEITO NO MEIO AMBIENTE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

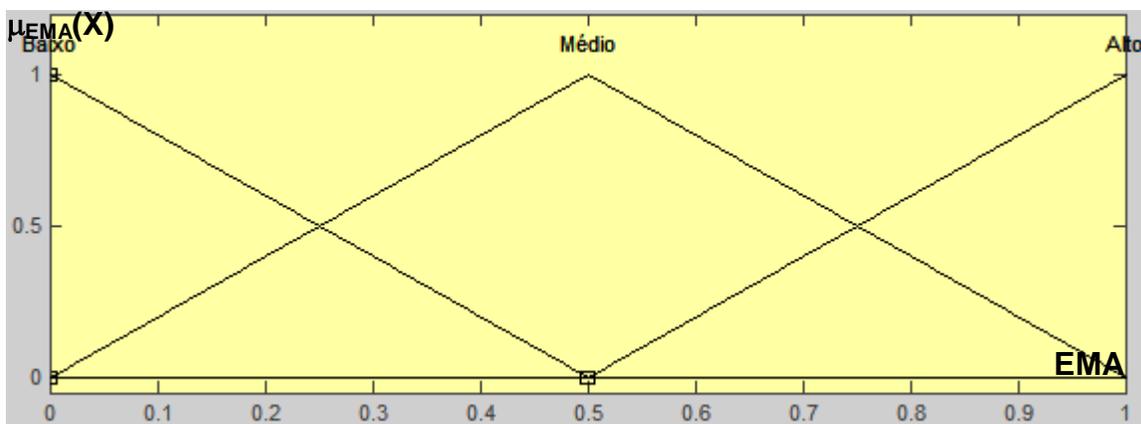


FIGURA 17 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO EFEITO NO MEIO AMBIENTE

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Efeito na Saúde Humana	0 - 0,5	X
	0 - 1	X
	0,5 - 1	X

QUADRO 18 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO EFEITO NA SAÚDE HUMANA

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

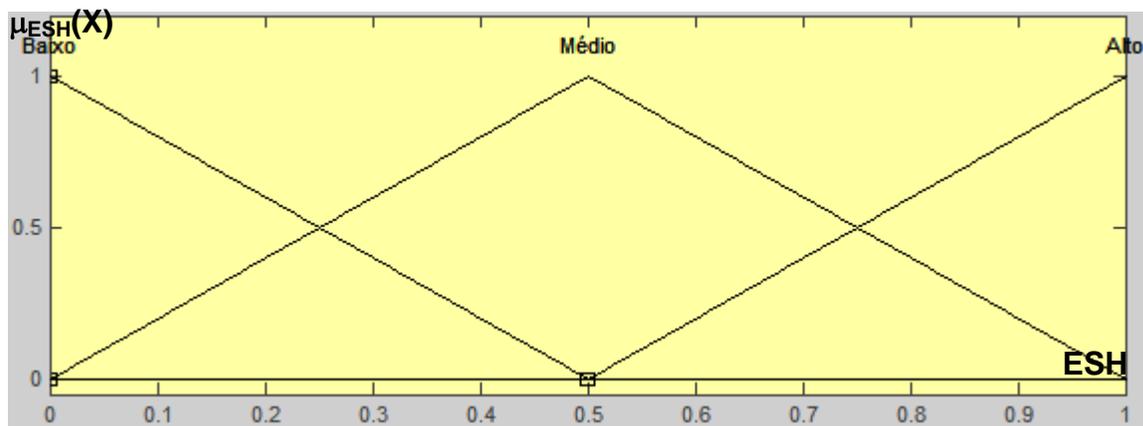


FIGURA 18 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO EFEITO NA SAÚDE HUMANA

VARIÁVEL FUZZY	VALORES DAS PARTIÇÕES	TRANSFORMAÇÃO*
Grau de Periculosidade	0 – 0,2	X
	0,2 – 0,4	X
	0,4 – 0,6	X
	0,6 – 0,8	X
	0,8 - 1	X

QUADRO 19 – NORMALIZAÇÃO DAS PARTIÇÕES DO GRAU DE PERICULOSIDADE

*Nota: Esta variável não precisou ser transformada.

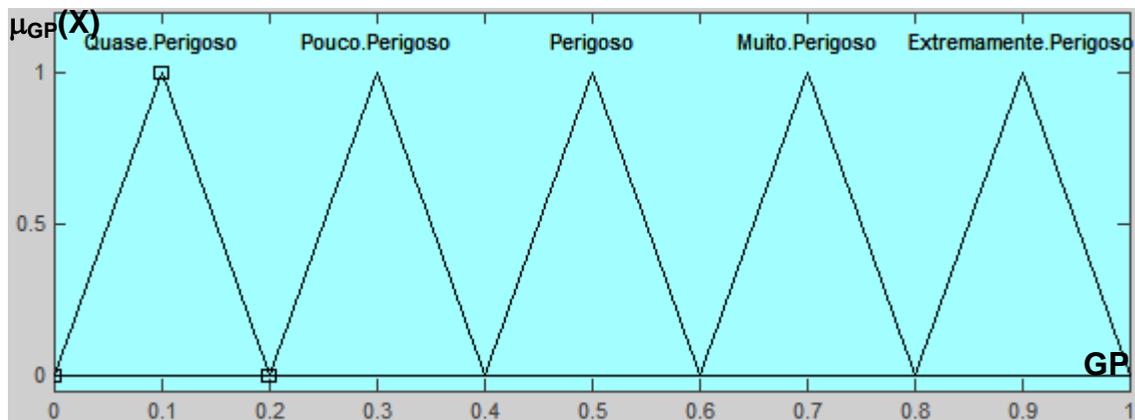


FIGURA 19 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E PARTIÇÕES DO GRAU DE PERICULOSIDADE

APÊNDICE 3

REGRAS DE INFERÊNCIA FUZZY

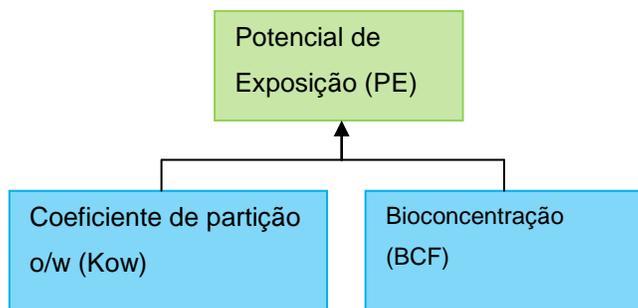


FIGURA 1 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO A

Lógica do conjunto de regras do Conjunto A: se o valor de entrada de um dos antecedentes for maior do que o outro, prevalece o maior valor para o consequente.

Conjunto de regras do Conjunto A:

- RA1. Se Kow é Alto ou BCF é Extremamente Bioacumulável então PE é Alto
- RA2. Se Kow é Alto ou BCF é Altamente Bioacumulável então PE é Alto
- RA3. Se Kow é Médio e BCF é Moderadamente Bioacumulável então PE é Médio
- RA4. Se Kow é Baixo e BCF é Pouco Bioacumulável então PE é Baixo
- RA5. Se Kow é Baixo e BCF é Muito Pouco Bioacumulável então PE é Baixo
- RA6. Se Kow é Baixo e BCF é Não Bioacumulável então PE é Baixo
- RA7. Se Kow é Médio e BCF é Pouco Bioacumulável então PE é Médio
- RA8. Se Kow é Médio e BCF é Muito Pouco Bioacumulável então PE é Médio
- RA9. Se Kow é Médio e BCF é Não Bioacumulável então PE é Médio
- RA10. Se Kow é Baixo e BCF é Moderadamente Bioacumulável então PE é Médio

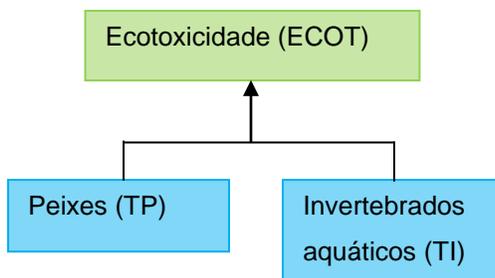


FIGURA 2 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO B

Lógica do conjunto de regras do Conjunto B: se o valor de entrada de um dos antecedentes for maior do que o outro, prevalece o maior valor para o consequente.

Conjunto de regras do Conjunto B:

- RB1. Se TP é Extremamente tóxico ou TI é Extremamente tóxico então ECOT é Alta
- RB2. Se TP é Altamente tóxico ou TI é Altamente então ECOT é Alta
- RB3. Se TP é Moderadamente tóxico e TI é Moderadamente tóxico então ECOT é Média
- RB4. Se TP é Moderadamente tóxico e TI é Levemente tóxico então ECOT é Média
- RB5. Se TP é Moderadamente tóxico e TI é Praticamente não então ECOT é Média
- RB6. Se TP é Levemente tóxico e TI é Moderadamente então ECOT é Média
- RB7. Se TP é Praticamente não tóxico e TI é Moderadamente tóxico então ECOT é Média
- RB8. Se TP é Levemente tóxico e TI é Levemente tóxico então ECOT é Baixa
- RB9. Se TP é Levemente tóxico e TI é Praticamente não então ECOT é Baixa
- RB10. Se TP é Praticamente não tóxico e TI é Levemente tóxico então ECOT é Baixa
- RB11. Se TP é Praticamente não tóxico e TI é Praticamente não tóxico então ECOT é Baixa

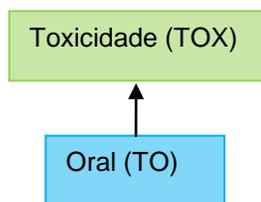


FIGURA 3 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO C

Lógica do conjunto de regras do Conjunto C: o valor do consequente é proporcional ao do antecedente.

Conjunto de regras do Conjunto C:

- RC1. Se TO é Muito tóxico então TOX é Alta
- RC2. Se TO é Tóxico então TOX é Alta
- RC3. Se TO é Moderadamente tóxico então TOX é Média
- RC4. Se TO é Pouco tóxico então TOX é Baixa

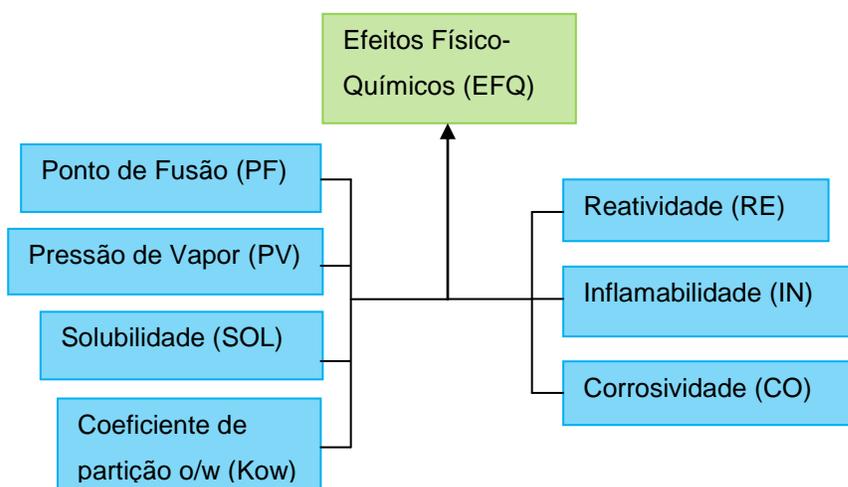


FIGURA 4 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO D

Lógica do conjunto de regras do Conjunto D: se o valor de entrada de um dos antecedentes for maior do que o outro, prevalece o maior valor para o consequente.

Conjunto de regras do Conjunto D:

- RD1. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD2. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD3. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD4. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD5. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD6. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD7. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD8. Se PF é Muito Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD9. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD10. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD11. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD12. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Muito solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD13. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD14. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é

- Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD15. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou Corrosivo então EFQ é Alto
- RD16. Se PF é Baixo ou PV é Alta ou SOL é Solúvel ou Kow é Alto ou RE é Reativo ou IN é Inflamável ou CO é Altamente Corrosivo então EFQ é Alto
- RD17. Se PF é Médio e PV é Média e SOL é Levemente solúvel e Kow é Médio então o EFQ é Médio
- RD18. Se PF é Muito Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD19. Se PF é Muito Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD20. Se PF é Muito Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD21. Se PF é Muito Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD22. Se PF é Muito Alto e PV é Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD23. Se PF é Muito Alto e PV é Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD24. Se PF é Muito Alto e PV é Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD25. Se PF é Muito Alto e PV é Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo

- RD26. Se PF é Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD27. Se PF é Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD28. Se PF é Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD29. Se PF é Alto e PV é Muito Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD30. Se PF é Alto e PV é Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD31. Se PF é Alto e PV é Baixa e SOL é Insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD32. Se PF é Alto e PV é Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Dificilmente inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo
- RD33. Se PF é Alto e PV é Baixa e SOL é Quase insolúvel e Kow é Baixo e RE é Não reativo e IN é Não inflamável e CO é Não corrosivo então o EFQ é Baixo

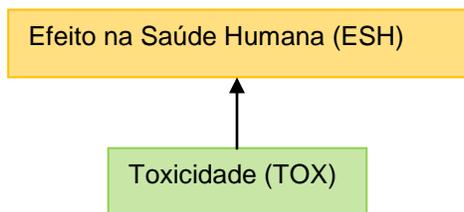


FIGURA 5 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO E

Lógica do conjunto de regras do Conjunto E: o valor do consequente é

proporcional ao do antecedente.

Conjunto de regras do Conjunto E:

- RE1. Se TOX é Alta então ESH é Alto
- RE2. Se TOX é Média então ESH é Médio
- RE3. Se TOX é Baixa então ESH é Baixo

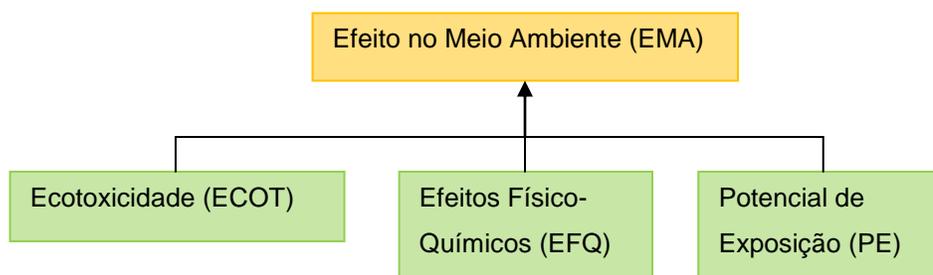


FIGURA 6 – REGRAS DE INFERÊNCIA CONJUNTO F

Lógica do conjunto de regras do Conjunto F: se o valor de entrada de um dos antecedentes for maior do que o outro, prevalece o maior valor para o consequente.

Conjunto de regras do Conjunto F:

- RF1. Se EFQ é Alto ou ECOT é Alta ou PE é Alto então EMA é Alto
- RF2. Se EFQ é Médio e ECOT é Média e PE é Médio então EMA é Médio
- RF3. Se EFQ é Médio e ECOT é Média e PE é Baixo então EMA é Médio
- RF4. Se EFQ é Médio e ECOT é Baixa e PE é Médio então EMA é Médio
- RF5. Se EFQ é Baixo e ECOT é Média e PE é Médio então EMA é Médio
- RF6. Se EFQ é Médio e ECOT é Baixa e PE é Baixo então EMA é Baixo
- RF7. Se EFQ é Baixo e ECOT é Média e PE é Baixo então EMA é Médio
- RF8. Se EFQ é Baixo e ECOT é Baixa e PE é Médio então EMA é Médio
- RF9. Se EFQ é Baixo e ECOT é Baixa e PE é Baixo então EMA é Baixo

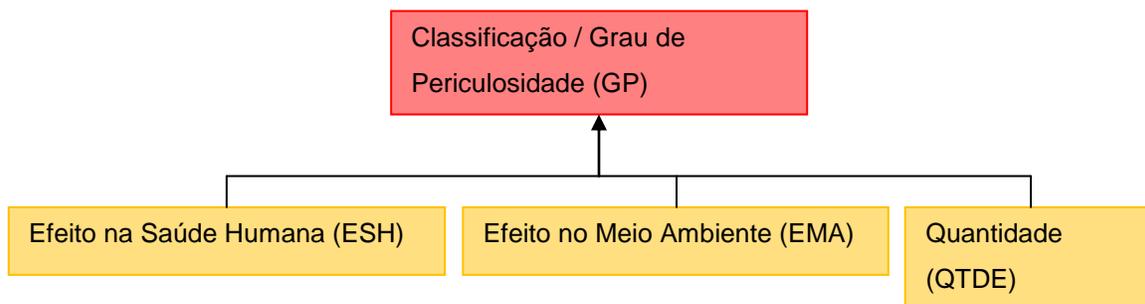


FIGURA 7 – REGRAS DE INFERÊNCIA DO CONJUNTO G

Lógica do conjunto de regras do Conjunto G: se o valor de entrada de um dos antecedentes for maior do que o outro, prevalece o maior valor para o consequente, com relação à quantidade.

Conjunto de regras do Conjunto G:

- RG1. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Extremamente Alta então GP é Extremamente Perigoso
- RG2. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Muito Alta então GP é Extremamente Perigoso
- RG3. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Alta então GP é Extremamente Perigoso
- RG4. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Média então GP é Muito Perigoso
- RG5. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Baixa então GP é Muito Perigoso
- RG6. Se EMA é Alto e ESH é Alto e QTDE é Muito Baixa então GP é Muito Perigoso
- RG7. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Extremamente Alta então GP é Extremamente Perigoso
- RG8. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Muito Alta então GP é Muito Perigoso
- RG9. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Alta então GP é Muito Perigoso
- RG10. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Média então GP é Muito Perigoso
- RG11. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Baixa então GP é Perigoso
- RG12. Se EMA é Alto e ESH é Médio e QTDE é Muito Baixa então GP é Perigoso

RG13. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Extremamente Alta então GP é Muito Perigoso

RG14. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Muito Alta então GP é Muito Perigoso

RG15. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Alta então GP é Perigoso

RG16. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Média então GP é Perigoso

RG17. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Baixa então GP é Perigoso

RG18. Se EMA é Alto e ESH é Baixo e QTDE é Muito Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG19. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Extremamente Alta então GP é Perigoso

RG20. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Muito Alta então GP é Perigoso

RG21. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Alta então GP é Perigoso

RG22. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Média então GP é Perigoso

RG23. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG24. Se EMA é Médio e ESH é Médio e QTDE é Muito Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG25. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Extremamente Alta então GP é Perigoso

RG26. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Muito Alta então GP é Perigoso

RG27. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Alta então GP é Perigoso

RG28. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Média então GP é Pouco Perigoso

RG29. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG30. Se EMA é Médio e ESH é Baixo e QTDE é Muito Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG31. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Extremamente Alta então GP é Perigoso

RG32. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Muito Alta então GP é Pouco

Perigoso

RG33. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Alta então GP é Pouco Perigoso

RG34. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Média então GP é Pouco Perigoso

RG35. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Baixa então GP é Quase Perigoso

RG36. Se EMA é Baixo e ESH é Baixo e QTDE é Muito Baixa então GP é Quase Perigoso

RG37. Se EMA é Baixo e ESH é Médio e QTDE é Extremamente Alta então GP é Perigoso

RG38. Se EMA é Baixo e ESH é Médio e QTDE é Muito Alta então GP é Perigoso

RG39. Se EMA é Baixo e ESH é Médio e QTDE é Alta então GP é Perigoso

RG40. Se EMA Baixo é e ESH é Médio e QTDE é Média então GP é Pouco Perigoso

RG41. Se EMA é Baixo e ESH é Médio e QTDE é Baixa então GP é Pouco Perigoso

RG42. Se EMA é Baixo e ESH é Médio e QTDE é Muito Baixa então GP é Pouco Perigoso

APÊNDICE 4

ESTRUTURA PARA CLASSIFICAÇÃO IMPLEMENTADA NO MATLAB®

```
Nome = 'Mercury dichloride'  
TO = 0  
TP = -2.0402  
TI = -6.2146  
CO = 3.2  
% IN é 0 para não inflamável, 0.3 para dificilmente inflamável e 1 para  
% inflamável  
IN = 0  
Kow = -0.5  
SOL = 4.3041  
% para reatividade é 0 não reativo e 1 reativo  
RE = 0  
PF = 280.7  
PV = -4.6052  
BCF = 8.6447  
QTDE = 0.2231  
CJA = readfis ('ConjuntoAA.fis')  
CJB = readfis ('ConjuntoBB.fis')  
CJC = readfis ('ConjuntoCC.fis')  
CJD = readfis ('ConjuntoDD.fis')  
CJE = readfis ('ConjuntoEEE.fis')  
CJF = readfis ('ConjuntoFF.fis')  
CJG = readfis ('ConjuntoGG.fis')  
PE = evalfis ([Kow BCF], CJA)  
ECOT = evalfis ([TP TI], CJB)  
TOX = evalfis ([TO], CJC)  
EFQ = evalfis ([PF PV SOL Kow RE IN CO], CJD)  
ESH = TOX  
EMA = evalfis ([ECOT EFQ PE], CJF)  
GP = evalfis ([ESH EMA QTDE], CJG)
```