

# *Fuzzy* ABC: Modelando a Incerteza na Alocação dos Custos Ambientais

## **José Alonso Borba**

Doutor em Controladoria e Contabilidade pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – FEA/USP

Professor da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC [jalonso@cse.ufsc.br]

Endereço: Rua Roberto Sampaio Gonzaga, s/n – Trindade – Florianópolis – SC Cep. 88040-900

## **Fernando Dal Ri Murcia**

Mestre em Contabilidade pela Faculdade Federal de Santa Catarina – UFSC. Doutorando em Contabilidade pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – FEA/USP [fernandomurcia@hotmail.com]

Endereço: Av. Prof. Luciano Gualberto, 908 – São Paulo – SP Cep. 05508-900

## **Cesar Duarte Souto Maior**

Mestrando em Administração na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC [cesarcdm@yahoo.com.br]

Endereço: Rua Roberto Sampaio Gonzaga, s/n – Trindade – Florianópolis – SC Cep. 88040-900

Recebido em 27 de março de 2007 / Aprovado em 02 de junho de 2007

## **RESUMO**

Em muitos casos, prevenir a poluição e a destruição do meio ambiente é menos oneroso do que remediar esses danos. Nesse contexto, a alocação de custos ambientais aos produtos permite uma melhor visualização e análise da rentabilidade dos produtos. Entretanto, a alocação dos custos ambientais aos produtos envolve informações estimadas e assume uma linearidade entre o consumo das atividades e os produtos, que muitas vezes não existe. Para contemplar essa não linearidade, esta pesquisa apresenta uma metodologia baseada na utilização da lógica *fuzzy* para modelar a incerteza e a subjetividade, inerentes ao processo de alocação dos custos ambientais. Para isso, além de um estudo de caso desenvolvido por Hansen e Mowen (2001, p. 584), que foi utilizado como referência, outras variáveis foram incorporadas. Em seguida, uma proposta de solução, que utiliza fundamentos da teoria dos

conjuntos *fuzzy*, ou nebulosos, foi desenvolvida com o objetivo de contemplar a subjetividade e a incerteza na alocação dos custos ambientais. Para simular esse modelo, foram estabelecidas 126 regras de inferência. A etapa final da elaboração do modelo nebuloso consistiu na fuzzificação e defuzzificação dos dados existentes e dos novos direcionadores gerados por intermédio da utilização do *software* FuzzyTECH®. Os resultados encontrados no modelo proposto – *FuzzyABC* (*Fuzzy Activity Based Costing*) – evidenciam que a lógica *fuzzy* pode ser utilizada como uma importante ferramenta para tratar da ambigüidade e da incerteza, inerentes ao processo de alocação dos custos ambientais.

## **Palavras-chave:**

Custos Ambientais. Lógica *Fuzzy*. *Activity based Costing*. Contabilidade Ambiental. Alocação de Custos.

**ABSTRACT**

In many cases, preventing pollution and environmental destruction is cheaper than remedying these damages. In this sense, environmental cost allocation enables a better visualization and analysis of a product's profitability. However, the environmental allocation process involves estimated information and assumes linearity between activity consumption and product that is not real in many cases. In order to handle this not-linearity, this research presents a methodology based on fuzzy logic concepts in order to model both the subjectivity and uncertainty inherent in the environmental allocation process. A case from Hansen and Mowen (2001, p. 584) has been used as a reference for the construction of the fuzzy model. Following, new variables were incorporated, and a proposed solution was developed utilizing fuzzy logic concepts. A total of 126 inference rules were created with the help of the specific software FuzzyTECH®, which resulted in the new cost drivers that were used to allocate the environmental costs to the products. The results founded in the proposed model FuzzyABC (Fuzzy Activity Based Costing) show that fuzzy logic can be used as a helpful tool in environmental cost allocation due to the ambiguity and subjectivity inherent in these process.

**Key-words:**

Environmental Costs. Fuzzy Logic. Activity based Costing. Cost Allocation. Environmental Accounting.

**RESUMEN**

En muchos casos, prevenir la contaminación y la destrucción del medio ambiente es menos gravoso que remediar estos daños. En este contexto, el hecho de asignar costos ambientales a los productos permite una mejor visualización y análisis de la rentabilidad de los productos. Pero, el atribuir costos ambientales a cada producto envuelve informaciones estimadas y asume una linealidad entre el consumo de las actividades y los productos, que muchas veces no

existe. Para contemplar esa falta de linealidad, este trabajo presenta una metodología con base en la utilización de la lógica *fuzzy* para modelar la incertidumbre y la subjetividad, inherentes al proceso de asignación de los costos ambientales. Para eso, además de un estudio de caso desarrollado por Hansen y Mowen (2001, p.584), que fue utilizado como referencia, otras variables fueron incorporadas. Seguidamente una propuesta de solución, que utiliza fundamentos de la teoría de los conjuntos *fuzzy*, o nebulosos, fue desarrollada con el propósito de atender la subjetividad y la incertidumbre en la asignación de los costos ambientales. Para simular ese modelo, fueron establecidas 126 reglas de inferencia. La etapa final de la elaboración del modelo nebuloso consistió en la *fuzzificación* y *desfuzzificación* de los datos existentes y de los nuevos orientadores generados por intermedio de la utilización del software *FuzzyTECH®*. Los resultados encontrados en el modelo propuesto - *FuzzyABC* (*Fuzzy Activity Based Costing*) - colocan en evidencia que la lógica *fuzzy* puede ser utilizada como una importante herramienta para tratar la ambigüedad y la incertidumbre inherentes al proceso de asignación de costos ambientales.

**Palabras-clave:**

Costos Ambientales. Lógica Fuzzy. Activity based Costing. Contabilidad Ambiental. Asignación de Costos.

**I INTRODUÇÃO**

A pressão da opinião pública para uma gestão ambiental responsável tem originado políticas e regulamentos ambientais mais rigorosos. Temas como desenvolvimento sustentável, ecoeficiência, contabilidade ambiental, balanço social, transparência, passivo ambiental e custos ambientais estão sendo discutidos por inúmeros pesquisadores de diferentes áreas com o intuito de estudar os efeitos dos impactos negativos das organizações no meio ambiente. Do mesmo modo, segundo Labbat e White (2002), em virtualmente todos os segmentos do mercado financeiro a atenção para os chamados 'custos ambientais' tem crescido com o passar dos anos.

Nesse sentido, qualquer organização pode estar sujeita a passivos e custos ambientais. (SHOE-MAKER; SHOEMAKER, 1995).

Do ponto de vista gerencial, a importância dos custos ambientais também é enfatizada por Hansen e Mowen (2001) ao afirmarem que a atribuição de custos ambientais para os produtos pode trazer informações gerenciais muito valiosas. Por exemplo, pode revelar que um determinado produto é responsável por muito mais resíduo tóxico que outro. Dessa forma, ao fornecer um sistema que permita alocar esses custos aos produtos, a contabilidade ambiental torna-se muito útil para a tomada de decisão gerencial.

Nos Estados Unidos, país atualmente responsável pelos maiores níveis de poluição mundial, a contabilidade gerencial ambiental ou *Environmental Management Accounting* (EMA) vem sendo discutida por diversos pesquisadores e gestores no sentido de se analisar os custos e benefícios das políticas ambientais das empresas. Pode-se destacar a pesquisa de Bennett, Bouma e Wolters (2002), que analisou o desenvolvimento das práticas de contabilidade gerencial ambiental, e o trabalho de Kim (2002), que apresentou um guia de direção (*guideline*) para mensurar a evidência dos custos ambientais. No cenário nacional, pode ser destacado o estudo de Ribeiro e Pinto (2004), que analisou o balanço social de sete empresas do estado de Santa Catarina, e o trabalho de Ribeiro e Souza (2004), que discutiu a aplicação da contabilidade ambiental mediante um estudo de caso na indústria madeireira.

## 2 ALOCAÇÃO DOS CUSTOS AMBIENTAIS

Ribeiro (1998, p.3) define custos ambientais como o somatório de todos os recursos utilizados pelas atividades desenvolvidas com propósito de controle, preservação e recuperação ambiental. Na maioria das organizações, os custos ambientais estão ocultos dentro dos custos indiretos de produção (CIP). Muitas vezes, um produto tido como rentável pode trazer custos e passivos ambientais para a organização, gerando assim um possível prejuízo ou uma contingência futura. Nesse caso, a falta

de um sistema adequado de alocação dos custos ambientais pode prejudicar o processo de tomada de decisão gerencial.

Paiva (2003) defende que o custeio por atividades, ou *Activity Based Costing* (ABC), permite uma identificação dos custos e controles ambientais, desde que haja clara identificação das atividades, bem como seus direcionadores. Nessa mesma linha de pensamento, Hansen e Mowen (2001) defendem que o rastreamento dos custos ambientais para os produtos responsáveis por eles é um requisito fundamental para um sistema de contabilidade ambiental, e o ABC satisfaz esse objetivo.

Como exemplo de pesquisas pioneiras tratando do ABC, podemos citar os trabalhos de Cooper e Kaplan (1988, 1998). Recentemente, como exemplos de trabalhos relevantes, pode ser citada a pesquisa de Huseein e Tam (2004), que apresenta um estudo de caso para ilustrar as diferenças entre o ABC e o custeio por absorção, e o trabalho de Jones e Dugdale (2002), que explora o ABC como um método especialista de alocação de custos.

Apesar de ser considerado por muitos estudiosos uma das maiores descobertas da contabilidade gerencial dos últimos 50 anos, o ABC apresenta alguns problemas que, quando não levados em conta, podem distorcer as informações a respeito do custo do produto. As informações usadas para desenvolver o ABC são estimadas e, muitas vezes, recolhidas mediante entrevistas, nas quais a subjetividade e a arbitrariedade estão presentes. De acordo com Natchtmann e Needy (2003), o problema da incerteza ocorre porque a mensuração da informação necessária para se chegar ao custo do produto é um processo muito oneroso.

Outro problema encontrado no ABC refere-se à linearidade dos recursos consumidos pelos produtos. Para Kim e Han (2003), o ABC assume uma função de custo linear, onde os custos totais *versus* o direcionador de custos formam uma linha reta. Por exemplo, ao alocar o custo da atividade limpar lago com base no direcionador de custos horas de limpeza, o ABC parte do pressuposto que o esforço para

se limpar o lago é o mesmo para todos os tipos de fertilizantes. Nesse tipo de alocação, o único critério levado em conta é o número de horas spendidas no processo. A complexidade da limpeza e o material gasto não são levados em conta na hora da alocação, pois se assume uma alocação linear. Essa linearidade entre o consumo das atividades pelos produtos dificilmente ocorre nas organizações. Portanto, o ABC pode distorcer o custo do produto quando o comportamento dos custos apresenta um comportamento não linear.

### 3 PESQUISAS ENVOLVENDO CONTABILIDADE E CUSTOS AMBIENTAIS

No âmbito nacional, podemos ressaltar os trabalhos de: Tinoco (1993), que discutiu, por meio de um artigo teórico e pioneiro, as características do balanço social e a contabilidade ambiental no Brasil; Ferreira (1995), que analisou a contabilidade de custos na gestão do meio ambiente; Ribeiro (1998), que analisou e discutiu o uso de conceitos do custeio por atividade no tratamento contábil dos gastos de natureza ambiental; Sousa et al. (2001), que realizaram um estudo empírico sobre a aplicabilidade da contabilidade ambiental nas empresas brasileiras; e Paiva (2003), que analisou a divulgação e a evidência das ações ambientais de 14 empresas do setor de papel e celulose.

No âmbito internacional, diversos pesquisadores têm trazido temas relacionados com a contabilidade ambiental em suas pesquisas. Dold e Enzler (2002) apresentam um sistema de informação para a contabilidade ambiental que visa economizar recursos e reduzir os custos da organização. Thurm (2002) analisou as práticas de evidência e transparência por intermédio de um estudo de caso na Siemens. Rikhardsson e Vedso (2002) apresentam um modelo de contabilidade gerencial ambiental implementado na Dinamarca. Já Kokubu e Kurasaka (2002), por sua vez, apresentam a perspectiva japonesa sobre a contabilidade ambiental nas organizações. Lee, Jung e Chun (2002) apresentam três estudos de caso (Posco, San-

sung e LG chemicals) com o intuito de ilustrar as práticas de contabilidade ambiental adotadas na Coreia. Reyes (2002) resalta a falta de uma regulamentação para a contabilidade ambiental nas Filipinas. Loikkanen e Katajajuuri (2002) analisaram a necessidade de uma maior transparência das informações relacionadas ao meio ambiente das empresas Finlandesas do setor de alimentos. Kuasirikun (2005) analisou a percepção dos contadores da Tailândia em relação às práticas de contabilidade ambiental. Hasseldine, Salama e Toms (2005) utilizaram uma metodologia baseada na análise de conteúdo para analisar a evidência ambiental das empresas do Reino Unido.

### 4 LÓGICA FUZZY

Para auxiliar a resolução de problemas gerenciais, como a alocação dos custos ambientais, inúmeras ferramentas de diversas áreas da ciência têm sido incorporadas na contabilidade, corroborando a afirmação de Glautier e Underdown (1994, p. 8):

Áreas tradicionais da contabilidade estão sendo invadidas por especialistas de outras áreas, como os analistas de sistemas, programadores de computação e especialistas em pesquisa operacional que trazem para a contabilidade suas diferentes qualidades e conhecimento.

Dentre essas novas ferramentas que buscam auxiliar as decisões gerenciais, podemos destacar a lógica *fuzzy*, desenvolvida por Lotfi Zadeh com o objetivo de quantificar a imprecisão e a incerteza. Desde sua introdução, em 1965, a lógica *fuzzy* vem destacando-se como uma importante ferramenta para tratar da incerteza e da subjetividade, inerentes aos complexos processos gerenciais. Um conjunto nebuloso não possui um limite preciso. A diferença entre pertencer e não pertencer não existe, mas sim uma graduação de pertinência. De acordo com Zebda (1995, p.27), a teoria dos conjuntos *fuzzy* não é uma teoria de decisão, mas sim um cálculo (uma linguagem

de modelagem) em que fenômenos vagos nos sistemas humanísticos podem ser tratados de forma sistemática.

A teoria dos conjuntos nebulosos permite solucionar esses problemas, pois suporta modelos de raciocínio vago e impreciso. Em um conjunto nebuloso, o grau de pertinência associado a cada elemento define o quanto cada objeto do universo satisfaz a propriedade associada ao conjunto. A tabela I e a figura I apresentam uma sintetização das diferenças entre os conjuntos clássicos e os conjuntos nebulosos.

A figura I exemplifica um caso típico. No gráfico A, é utilizada a lógica clássica. Se a altura de uma pessoa é maior que 1,7m, a pessoa é classificada como “alta” e se for menor do que 1,7m, a pessoa é considerada “baixa”. A transição entre pertencer e não pertencer é abrupta. Uma pessoa de 1,69m é considerada “baixa” e outra de 1,71m é considerada “alta”. O gráfico B mostra como a lógica fuzzy pode ser utilizada provendo uma transição suave entre “baixa” e “alta”.

Bojadziev e Bojadziev (1997, p. 9) definem um conjunto nebuloso como um conjunto de pares ordenados, uma relação binária da forma expressa na equação (I):

$$(I) \tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in A, \mu_A(x) \in [0,1]\}$$

Onde  $\mu_A(x)$  é chamada de função de pertinência e especifica o grau no qual cada elemento  $x$  em  $A$  pertence ao conjunto nebuloso  $\tilde{A}$ .

Para Von Altrock (1997), a teoria dos conjuntos nebulosos é uma generalização que engloba os conjuntos convencionais quando  $\mu_A(x) = 0$  ou  $\mu_A(x) = 1$ . Em outras palavras, os conjuntos convencionais são casos especiais dos conjuntos nebulosos.

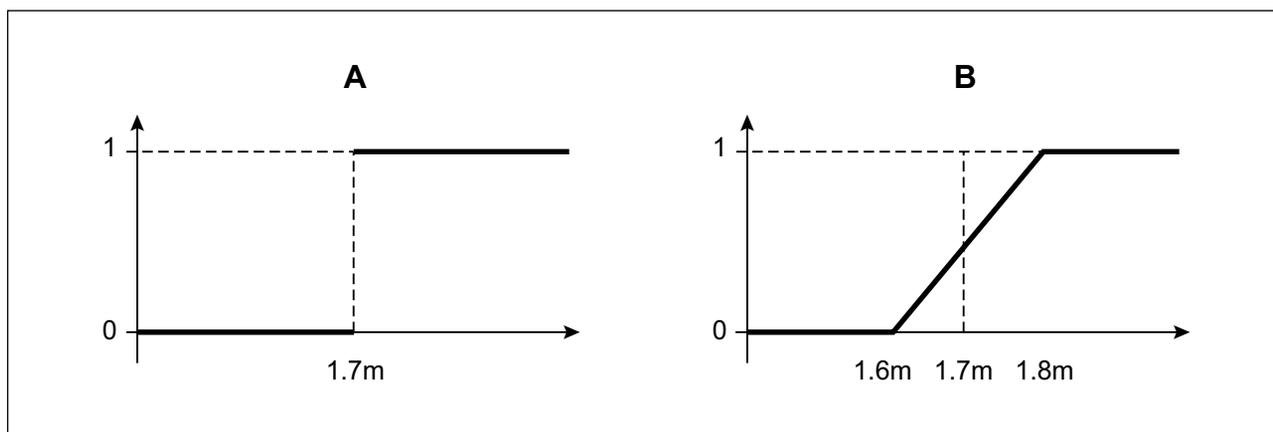
Conforme Von Altrock (1997), a modelagem dos sistemas nebulosos é composta dos processos de:

- Fuzzificação: transforma valores reais em valores nebulosos, também chamado de processo de generalização.

**Tabela I.** Conjuntos Clássicos X Conjuntos Nebulosos

Conjuntos Clássicos – Lógica Binária	Conjuntos Nebulosos – Lógica Fuzzy
Limites precisos	Limites Imprecisos
Transição brusca entre pertencer e não pertencer	Transição gradual entre pertencer e não pertencer
Representam conceitos bem definidos	Representam conceitos vagos e imprecisos

Fonte: Os autores



**Figura I** - Conjuntos Clássicos X Conjuntos Nebulosos.

Fonte: Os autores

- Inferências: processamento com bases nas regras preestabelecidas, um processo de conversão.
- Defuzzificação: que obtém um valor discreto, chamado de processo de especificação.

Nos últimos anos, Bojadziew e Bojadziew (1997), Friedlob e Schleifer (1999), Lin, Hwang e Becker (2003), Nagasawa (1997), Serguieva e Hunter (2004), dentre outros acadêmicos e profissionais, vêm estudando e aplicando conceitos da lógica fuzzy na Contabilidade, como, por exemplo: na alocação de custos, na tomada de decisão, em orçamento de capital, na análise de riscos, na mensuração de preços de ativos, na engenharia de valor, na diagnose financeira, na avaliação de fluxos de caixas, na análise de crédito, na auditoria, entre outras áreas.

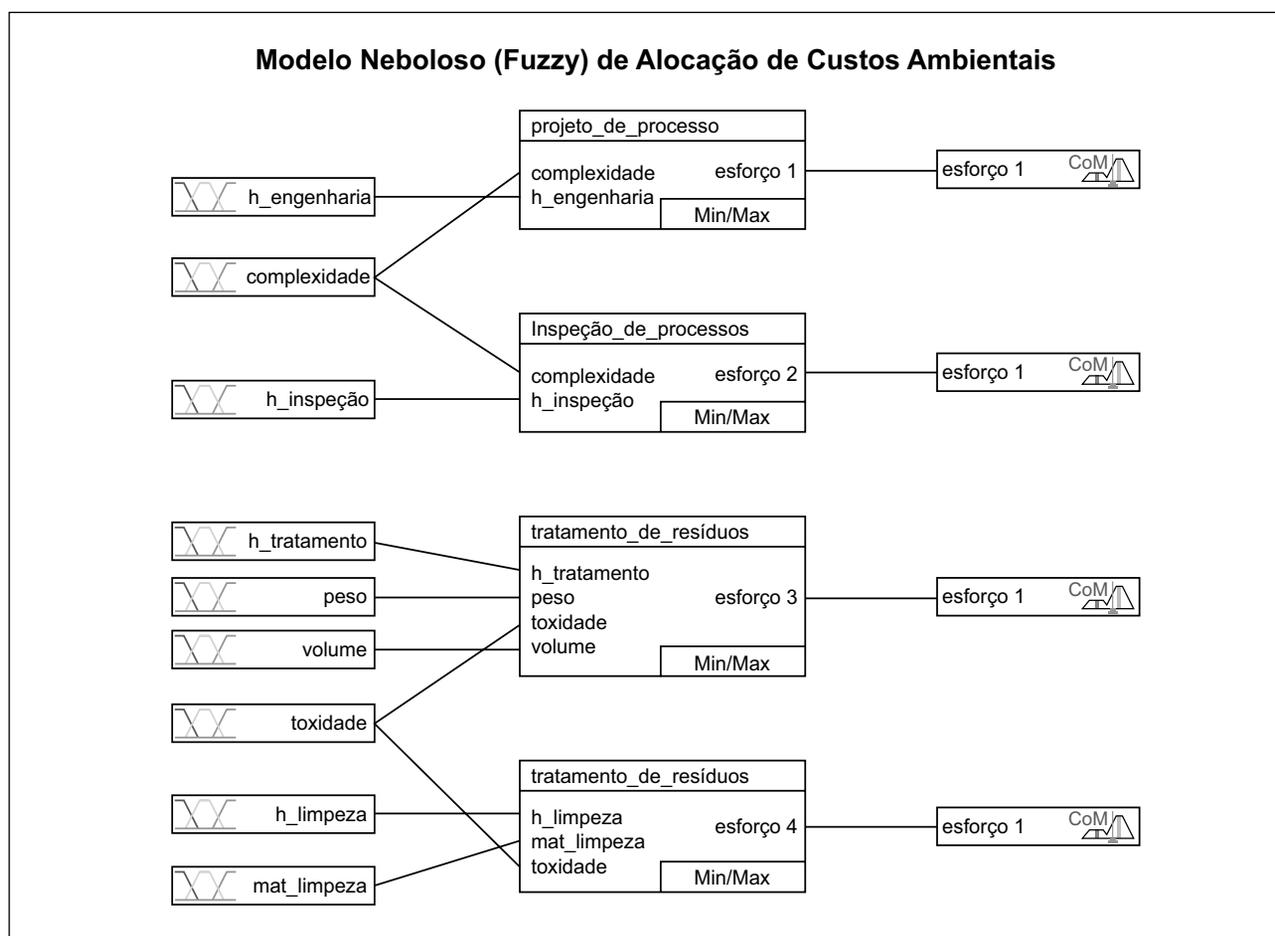
Na área de custos, podemos citar os trabalhos de: Nachtmann e Needy (2001, 2003),

no ABC e na alocação de custos; Shehab e Abdalla (2002), na modelagem de um sistema de custeio; Smith (2003), no desenvolvimento de um sistema de suporte baseado no ABC.

Mais especificamente na área de alocação de custos ambientais, os autores desta pesquisa não têm conhecimento de nenhuma pesquisa nacional ou internacional que tenha utilizado uma abordagem baseada nos conceitos da lógica fuzzy.

## 5 CONSTRUÇÃO DO MODELO

A modelagem proposta foi realizada com auxílio do *software* FuzzyTECH®. Na figura 1, temos uma visão geral do modelo desenvolvido por intermédio do FuzzyTECH®, que basicamente está dividido em três partes principais: a fuzzificação das variáveis de entrada, as regras de inferências e a defuzzificação das variáveis de saída.



**Figura 2** - Visão Geral do Modelo.

Fonte: os autores

Todavia, a construção do modelo conceitual de alocação dos custos ambientais foi dividida em quatro partes:

- Estabelecimento das variáveis que formarão o novo direcionador de custos;
- Processo de fuzzificação dos dados;
- Estabelecimento das regras de inferência;
- Processo de defuzzificação.

### 5.1 Estabelecimento das variáveis para o novo direcionador de custos

Essa etapa consistiu no estabelecimento de novas variáveis, no intuito de refletir um melhor critério para a alocação dos custos ambientais aos produtos, levando em conta outras variáveis, além das originalmente definidas.

Por exemplo, no modelo de Hansen e Mowen (2001, p. 584), os custos associados à atividade de tratamento de resíduos eram alocados de acordo com a porcentagem do volume total, representado em libras tratadas. Já no modelo proposto, além do volume total, também foram consideradas as variáveis: toxicidade do produto, peso e tempo de tratamento. Na realidade, o tratamento de resíduos para produtos diferentes pode envolver esforços, materiais e recursos diferentes. Assim, o estabelecimento desses novos direcionadores tem como propósito refletir um critério mais acurado para a alocação dos custos ambientais aos produtos. A tabela 2

apresenta os direcionadores de custos utilizados no exercício de Hansen e Mowen (2001, p. 584) e os novos direcionadores estabelecidos.

### 5.2 Processo de fuzzificação

Todas as variáveis numéricas de entrada do modelo *fuzzy* precisam ser convertidas em variáveis lingüísticas de entrada. Os valores lingüísticos adotados foram "baixo", "médio" e "alto". O processo de estabelecimento de intervalos foi realizado para todas as variáveis de entrada, estabelecidas e evidenciadas na tabela. A figura 2 mostra o gráfico que representa o gráfico das funções de pertinência da variável lingüística de entrada tempo de limpeza.

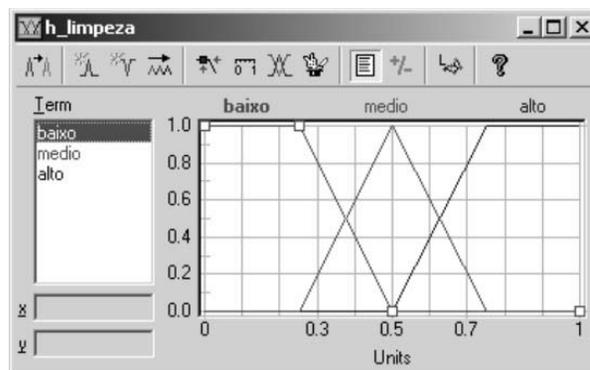


Figura 3 - Gráfico das funções de pertinência da variável "tempo de limpeza".

Fonte: os autores

Tabela 2. Direcionadores de custos.

Atividade	Hansen e Mowen	Fuzzy ABC
1. Projeto de Processos	Tempo de Engenharia (h)	Tempo de Engenharia (h)
		Complexidade do Processo (0-100)
2. Tratamento de Resíduos	Peso (lb)	Peso (lb)
		Volume (m3)
		Tempo de tratamento (h)
		Toxicidade (0-100)
3. Inspeção de Processos	Tempo de Inspeção (h)	Tempo de Inspeção (h)
		Complexidade do Processo (0-100)
4. Limpeza do lago	Tempo de Limpeza (h)	Tempo de Limpeza (h)
		Material de Limpeza (0-100)
		Toxicidade (0-100)

Fonte: Os autores

### 5.3 Estabelecimento das regras de inferência

O modelo proposto necessita de regras de inferência para, mediante variáveis lingüísticas de entrada, retornar uma variável lingüística de saída denominada esforço. Essas regras representam uma das formas que a inteligência humana usa para tomar decisões, partindo de premissas lógicas. Para um caso real, os especialistas da empresa ou do mercado deveriam auxiliar, com sua experiência, a composição das regras. Para o problema em questão foi criado um total de 126 regras de inferência. Todas essas regras podem ser visualizadas no Anexo I.

As regras são atribuídas por meio de proposições lógicas. Segue abaixo uma das regras utilizadas para a atividade tratamento de resíduos.

SE o peso do produto é alto, E o tempo de inspeção dedicado é médio, E o volume do produto é médio E a toxicidade do produto é média ENTÃO o esforço para tratar de seus resíduos é medioalto.

A atribuição das regras foi feita no FuzzyTECH®. A Tabela 3 apresenta as regras construídas para a atividade inspecionar processos.

**Tabela 3.** Regras de inferência para a atividade inspecionar processos.

IF		THEN	
complexidade	h_inspecao	DoS	esforco2
Baixo	Baixo	1.00	Baixo
Baixo	Médio	1.00	Mediobaixo
Baixo	Alto	1.00	Médio
Médio	Baixo	1.00	Mediobaixo
Médio	Médio	1.00	Médio
Médio	Alto	1.00	Medioalto
Alto	Baixo	1.00	Médio
Alto	Médio	1.00	Medioalto
Alto	Alto	1.00	Alto

Fonte: Os autores

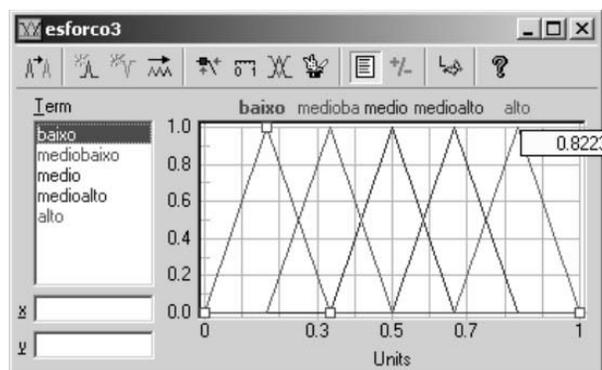
### 5.4 Processo de defuzzificação

Por intermédio de regras de inferência, o processo retornará como saída uma variável lingüística denominada esforço. Os

valores lingüísticos de saída adotados foram: baixo, mediobaixo, médio, medioalto, e alto. Para a determinação dos direcionadores de custo, precisaremos, no final do processo, converter cada variável lingüística em um valor numérico.

O processo de defuzzificação, realizado pelo software FuzzyTECH®, representa a transformação das variáveis lingüísticas em variáveis numéricas. O método usado nesse processo é chamado de Método do Centro da Área ou Centróide. Nesse método, o ponto de equilíbrio da saída nebulosa é encontrado por meio do cálculo da média ponderada da região nebulosa encontrada pela função de agregação.

Os resultados do processo de defuzzificação serão os novos direcionadores de custos, gerados pelo modelo *fuzzy*. Esses direcionadores serão utilizados para alocar o custo das atividades. A figura 3 mostra o gráfico das funções de pertinência de saída da atividade tratamento de resíduos.



**Figura 4** - Gráfico das funções de pertinência da atividade de tratamento de resíduos.

Fonte: os autores

## 6 RESULTADOS

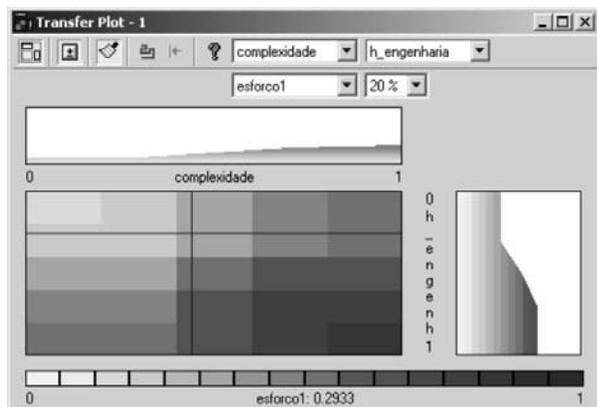
Para a consecução do desenvolvimento do modelo proposto, foram definidas, para as variáveis da tabela 2, as características de dois produtos distintos. Como dito anteriormente, utilizou-se como base o exercício de Hansen e Mowen (2001, p. 584). Na tabela 4, são apresentados os produtos "FertiRap" e "FertiLong" e os valores de suas respectivas variáveis.

**Tabela 4.** Determinação das variáveis dos produtos.

Variável	FertiRap	FertiLong
Volume total tratado	20.000	8.000
Peso total tratado	30.000	10.000
Toxidade do produto	55	85
Tempo de inspeção	10.000	5.000
Tempo de limpeza	8.000	2.000
Tempo de engenharia	1.500	4.500
Complexidade do processo	60	75
Tempo de tratamento	10.000	8.000
Material de limpeza	45	75

Fonte: Os autores

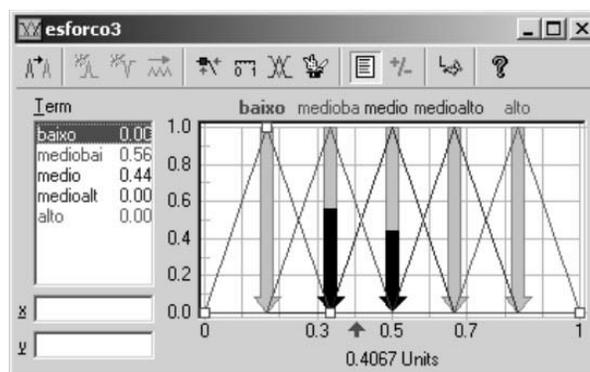
As variáveis que aparecem em negrito foram acrescentadas ao exercício de Hansen e Mowen (2001, p. 584). As demais variáveis foram mantidas iguais. Conforme dito anteriormente, essas novas variáveis foram acrescentadas com o intuito de refletir um melhor critério para a alocação dos custos ambientais aos produtos. A figura 4 apresenta a defuzzificação da atividade projeto de processo para o Produto FertiRap.



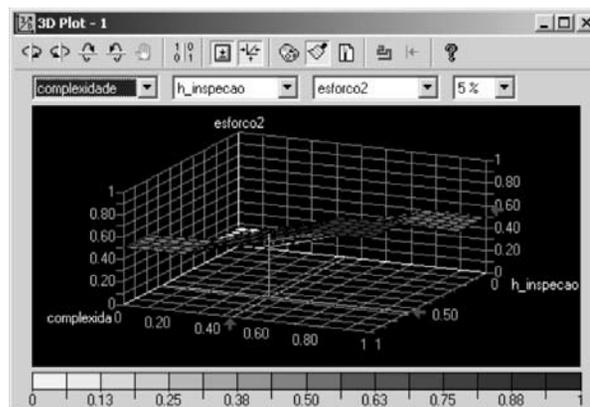
**Figura 5** - Defuzzificação de projeto de processo para o produto FertiRap  
Fonte: os autores

Como se pode observar na figura 4, a defuzzificação da atividade projeto de processo para o produto FertiRap resultou em um esforço de 0,2933 ou 29,33%. Desse modo, esse será o percentual aplicado para a alocação do custo da atividade para esse produto. Em contrapartida, ao produto FertiLong, serão alocados os restantes 70,67%. Esse processo de defuzzificação foi

realizado em todas as 4 atividades. As figuras 4, 5, 6 e 7 ilustram várias formas de visualizar esse processo de defuzzificação por intermédio do FuzzyTECH®.

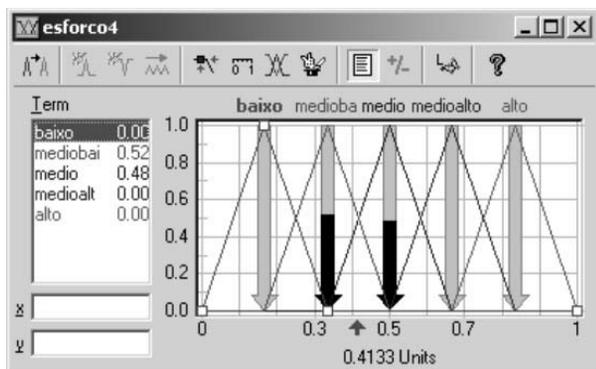


**Figura 6** - Defuzzificação de tratamento de resíduos para o produto FertiLong  
Fonte: os autores



**Figura 7** - Defuzzificação de inspeção de processos para o produto FertiRap  
Fonte: os autores

A figura 6 ilustra o processo de defuzzificação da atividade inspeção de processos para o produto FertiRap por intermédio do FuzzyTECH® em uma visão tridimensional. Esse processo resultou em um esforço de 0,5933 que será utilizado para alocar o custo dessa atividade ao produto. O mesmo foi realizado para a atividade inspeção de processos, como pode ser observado na figura 7.



**Figura 8** - Defuzzificação de inspeção de processos para o produto FertiRap  
Fonte: os autores

Mediante a defuzzificação das variáveis dos dois produtos, foram desenvolvidos os novos percentuais de alocação dos custos ambientais para cada atividade, os quais estão expostos na tabela 5.

Como se pode observar na tabela 5, os percentuais de alocação dos custos ambientais, baseado nos direcionadores Fuzzy ABC, apresentaram diferenças em relação aos percentuais dos direcionadores do estudo de caso de Hansen e Mowen (2001, p. 584). Isso ocorre porque o modelo proposto neste estudo leva em conta outras variáveis, além dos direcionadores estabelecidos no exercício. Assim, o modelo *fuzzy* proposto reflete melhor o consumo dos produtos pelas atividades ambientais, proporcionando uma melhor visualização e análise dos custos ambientais do produto.

Finalmente, os custos das quatro atividades foram alocados aos dois produtos, FertiRap e FertiLong, conforme ilustra a tabela 6 a seguir.

**Tabela 5.** Alocação (%) dos custos ambientais baseados nos direcionadores de custo.

Custos Ambientais	Hansen e Mowen		Fuzzy ABC	
	FertiRap	FertiLong	FertiRap	FertiLong
Atividades				
Projeto do Processo	25,0%	75,0%	29,33%	70,67%
Tratamento de Resíduos	75,0%	25,0%	55,91%	44,09%
Inspeção de Processos	66,6%	33,3%	59,33%	40,67%
Limpeza do lago	80,0%	20,0%	58,67%	41,33%

Fonte: Os autores

**Tabela 6.** Alocação (\$) dos custos das atividades aos produtos.

Custos Ambientais	Hansen e Mowen		Fuzzy ABC	
	FertiRap	FertiLong	FertiRap	FertiLong
Atividades				
Projeto do Processo	37.500	112.500	43.995	106.005
Tratamento de Resíduos	450.000	150.000	335.460	264.540
Inspeção de Processos	80.000	40.000	71.196	48.804
Limpeza do lago	160.000	40.000	117.340	82.660
Total	727.500	342.500	567.991	502.009
Quilos Produzidos	1.000.000	2.000.000	1.000.000	2.000.000
Custo ambiental unitário	0,7275	0,1712	0,5680	0,2510
Diferença do Exercício (-) Fuzzy	0,1595	(0,0798)		
Diferença (%)	21,93	(46,57)		

Fonte: Os autores

Os resultados, expostos na tabela 6, demonstram uma diferença entre os custos ambientais unitários dos produtos no método de alocação tradicional do ABC, utilizado no exercício de Hansen e Mowen (2001, p. 584) e no método *Fuzzy ABC*. O produto FertiRap apresentou um custo menor, representando uma diminuição de aproximadamente 15,95% pelo método *Fuzzy ABC*. Já o produto FertiLong apresentou um custo ambiental unitário maior, com um aumento de 7,98% do custo ambiental unitário. Informações desse tipo podem ser de vital importância para uma determinada organização, representando um dado útil para a tomada de decisões gerenciais. Os gestores da organização poderiam decidir, por exemplo, descontinuar a produção de determinado produto ou tomar medidas para aprimorar certos processos.

Cabe salientar, que o intuito desta pesquisa não é criticar os modelos tradicionais utilizados nem o enfoque didático utilizado por Hansen e Mowen (2001, p. 584). O artigo se propõe a problematizar um exercício sobre a alocação dos custos ambientais do ABC e, a partir da evidenciação desse problema, sugerir uma possível solução baseada nos conceitos da lógica *fuzzy*. Em suma, ampliar os horizontes didáticos e conceituais da alocação dos custos ambientais.

## 7 CONCLUSÕES

A visão tradicional dos estudiosos do meio ambiente, de que proteger a Terra e seus recursos é essencial, nunca agradou aos gestores das grandes multinacionais, que assumem como objetivo principal da empresa o lucro e a maximização do valor do acionista. Nos recentes anos, uma nova visão de contabilidade ambiental tem despertado o interesse desses gestores. Nessa nova visão, a gestão ambiental visa reduzir o desperdício, melhorar a eficiência, aumentar a produtividade, e, eventualmente, melhorar sua *performance* e seu lucro.

Na gestão ambiental, a alocação dos custos ambientais aos produtos tem grande importância no processo de tomada de decisão gerencial, pois permite uma melhor análise da rentabilidade de cada produto. Como método de alocação de

custos aos produtos, o ABC apresenta uma subjetividade inerente, que, quando não levada em conta, tende a distorcer os custos ambientais dos produtos, prejudicando a tomada de decisão gerencial. Dessa forma, a proposta deste estudo foi a construção de um modelo baseado na lógica *fuzzy* para o processo de alocação dos custos ambientais aos produtos. Para a simulação do modelo *fuzzy*, foi utilizado o *software FuzzyTECH®*. O modelo proposto nesta pesquisa estende os conceitos baseados na lógica *fuzzy* às metodologias normalmente utilizadas nos processos de alocação dos custos ambientais tradicionais. Assim, o uso da lógica *fuzzy* pode ser considerado uma alternativa para a alocação de custos ambientais.

Finalmente, o propósito deste artigo foi apresentar uma nova metodologia para modelar a subjetividade inerente aos processos de cálculo e análise do custo ambiental do produto. Esse modelo, aparentemente simples, pode ser aplicado em casos bem mais complexos envolvendo diversos produtos, variáveis e custos.

## REFERÊNCIAS

BENNETT, M.; BOUMA, J.; WOLTERS, T. The development of environmental management accounting: general introduction and critical review. **Environmental management accounting: information and institutional development**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 1-18.

BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. **Fuzzy logic for business, finance and management**. Singapore: World Scientific, 1997.

COOPER, R.; KAPLAN, R. S. **The design of cost management systems: text, cases, and readings**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

———; ———. How cost accounting distorts product costs. **Management Accounting**, v. 69, n. 10, p. 20-27, 1988.

DOLD, W.; ENZLER, S. Efficienteco-management using eco-integral: how to save costs and natural

resources at the same time. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 93-III.

FERREIRA, A. Contabilidade de custos para gestão do meio ambiente. **Caderno de Estudos FIFECAFI**, São Paulo, n. 12, set. 1995.

FRIEDLOB, G. T. SCHLEIFER, L. L. F. Fuzzy logic: application for auditing risk and uncertainty. **Managerial Auditing Journal**, West Yorkshire, v. 14, n. 3, p. 127-135, 1999.

FUZZYTECH. [2006]. Disponível em: <<http://www.fuzzytech.com/>>.

GLAUTIER, M.; UNDERDOWN, B. **Accounting theory and practice**. London: Pitman Publishing, 1994. v. 5.

HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M. **Gestão de custos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

HASSELDINE, J; SALAMA, A; TOMS, J. Quantity versus quality: the impact of environment disclosures on the reputation of UK Plcs. **The British Accounting Review**, Burlington, v. 37, n. 2, p. 231-248, 2005.

HUSSEIN, M.; TAM, K. Pilgrims Manufacturing, Inc: activity-based costing versus volume-based costing. **Issues in Accounting Education**, Sarasota, v. 19, n. 2, p. 539-553, 2004.

JONES, T.; DUGDALE, D. The ABC bandwagon and the juggernaut of modernity. **Accounting Organizations and Society**, Oxford, v. 27, n. 1/2, p. 121-163, Jan./Mar. 2002.

KIM, J. A guideline for the measurement and reporting of environmental costs. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 51-65.

KIM, K.; HAN, I. Application of a hybrid genetic algorithm and neural network approach in activity based costing. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 24, n. 1, p.73-77, Jan. 2003.

KOKUBU, K.; KURASAKA, T. Corporate environmental accounting: a Japanese perspective. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 1-18.

KUASIRIKUN, N. Attitudes to the development and implementation of social and environmental accounting in Thailand. **Critical Perspectives on Accounting**, Burlington, v. 16, n. 8, p. 1035-1057, Nov. 2005.

LABATT, S; WHITE, R. **Environmental finance**. New York: Wiley, 2002.

LEE, B.; JUNG, S.; CHUN, Y. Environmental accounting in Korea: cases and policy recommendations. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 175-186.

LIN, J.; HWANG, M.; BECKER, M. A fuzzy neural network for assessing the risk of fraudulent financial reporting. **Managerial Auditing Journal**, West Yorkshire, v. 18, n. 8, p. 657-665, 2003.

LOIKKANEN, T.; KATAJAJUURI, J. Towards transparent information on the environmental quality of products – LCA-based data production for the Finnish foodstuff industry. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 249-252.

NAGASAWA, S. Application of fuzzy theory to value engineering. **Computers ind. Engineering**, Great Britain, v. 33, n. 3/4, p. 565-568, 1997.

NACHTMANN, H.; NEEDY, K. L. Fuzzy activity based costing: a methodology for handling uncertainty in activity based costing systems. **The Engineering Economist**, Oxfordshire, v. 46, n. 4, p. 245-273, 2001.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Methods for handling uncertainty in activity based costing systems. **The Engineering Economist**, Oxfordshire, v. 48, n. 3, p. 259-282, 2003.

PAIVA, P. **Contabilidade ambiental**: evidenciação dos gastos ambientais com transparência e focada na prevenção. São Paulo: Atlas, 2003.

REYES, M. The greening of accounting: putting the environment onto the agenda of the accountancy profession in the Philippines. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 215-220.

RIBEIRO, M. O custeio por atividades aplicado aos gastos de natureza ambiental. **Caderno de Estudos FIFECABI**, São Paulo, v. 10, n. 19, p. 82-91, 1998.

\_\_\_\_\_; PINTO, A. Balanço social: avaliação de informações fornecidas por empresas industriais situadas no estado de Santa Catarina. **Revista de Contabilidade e Finanças**, São Paulo, n. 36, p. 21-34, 2004.

\_\_\_\_\_; SOUZA, V. A aplicação da contabilidade ambiental na indústria madeireira. **Revista de Contabilidade e Finanças**, São Paulo, n. 35, p. 54-67, 2004.

RIKHARDSSON, P.; VEDSO, L. The Danish environmental management accounting project: an environmental management accounting framework and possible integration into corporate information systems. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 137-151.

SERGUIEVA, A. HUNTER, J. Fuzzy interval methods in investment risk appraisal. **Fuzzy Sets and Systems**, Amsterdam, v. 142, n. 3, p. 443-466. 2004.

SHEHAB, E.; ABDALLA, H. Intelligent knowledge based system for product cost modeling. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 19, n. 1, p. 49-65, 2002.

SHOEMAKER, P; SHOEMAKER, J. Estimating environmental liability: quantifying the unknown. **California Management Review**, Berkeley, v. 37, n. 3, p. 29-42, 1995.

SMITH, K. Developing, marketing, distributing, and supporting, and activity based costing decision support system for Schrader Bellows. **Issues in Accounting Education**, Sarasota, v. 18, n. 2, p. 175-189, 2003.

SOUSA, M. et al. Contabilidade ambiental: um estudo sobre sua aplicabilidade nas empresas brasileiras. **Revista de Contabilidade e Finanças**, São Paulo, v. 16, n. 27, p. 89-99, 2001.

THURM, R. 'Counting what counts' – raising transparency through environmental management accounting at Siemens. **Environmental management accounting**: information and institutional development. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 123-135.

TINOCO, J. Balanço social e a contabilidade no Brasil. **Caderno de Estudos FIFECABI**, São Paulo, n. 9, p. 57-63, 1993.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy logic and neuro-fuzzy applications in business and finance**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

ZEBDA, A. The problem of ambiguity and the use of fuzzy set theory in accounting: a perspective and opportunities for research. **Applications of fuzzy sets and the theory of evidence to accounting II**. London: Jai Press, 1995. v. 7, p. 20-33.

## ANEXO A - Regras de inferência elaboradas no FuzzyTECH®

Regras de inferência para a atribuição do esforço I, sendo hb = horas de engenharia baixo, hm = horas de engenharia médio, ha = horas de engenharia alto, cb = complexidade baixo, cm = complexidade médio, ca = complexidade alto, eb = esforço baixo, emb = esforço mediobaixo, em = esforço medio, ema = esforço medioalto, ea = esforço alto.

1 se cb e hb então eb
2 se cb e hm então emb
3 se cb e ha então em
4 se cm e hb então emb
5 se cm e hm então em
6 se cm e ha então ema
7 se ca e hb então em
8 se ca e hm então ema
9 se ca e ha então ea

Regras de inferência para a atribuição do esforço 2, sendo hb = horas de inspeção baixo, hm = horas de inspeção médio, ha = horas de inspeção alto, cb = complexidade baixo, cm = complexidade médio, ca = complexidade alto, eb = esforço baixo, emb = esforço mediobaixo, em = esforço medio, ema = esforço medioalto, ea = esforço alto.

1 se cb e hb então eb
2 se cb e hm então emb
3 se cb e ha então em
4 se cm e hb então emb
5 se cm e hm então em
6 se cm e ha então ema
7 se ca e hb então em
8 se ca e hm então ema
9 se ca e ha então ea

Regras de inferência para a atribuição do esforço 3, sendo hb = horas de tratamento baixo, hm = horas de tratamento médio, ha = horas de tratamento alto, pb = peso baixo, pm = peso médio, pa = peso alto, tb = toxidade baixo, tm = toxidade médio, ta = toxidade alto, vb = volume baixo, vm = volume médio, va = volume alto, eb = esforço bai-

xo, emb = esforço mediobaixo, em = esforço medio, ema = esforço medioalto, ea = esforço alto.

1 se hb e pb e tb e vb então eb
2 se hb e pb e tb e vm então eb
3 se hb e pb e tb e va então emb
4 se hb e pb e tm e vb então emb
5 se hb e pb e tm e vm então emb
6 se hb e pb e tm e va então emb
7 se hb e pb e ta e vb então emb
8 se hb e pb e ta e vm então em
9 se hb e pb e ta e va então em
10 se hb e pm e tb e vb então eb
11 se hb e pm e tb e vm então emb
12 se hb e pm e tb e va então emb
13 se hb e pm e tm e vb então emb
14 se hb e pm e tm e vm então emb
15 se hb e pm e tm e va então em
16 se hb e pm e ta e vb então em
17 se hb e pm e ta e vm então em
18 se hb e pm e ta e va então em
19 se hb e pa e tb e vb então emb
20 se hb e pa e tb e vm então emb
21 se hb e pa e tb e va então emb
22 se hb e pa e tm e vb então emb
23 se hb e pa e tm e vm então em
24 se hb e pa e tm e va então em
25 se hb e pa e ta e vb então em
26 se hb e pa e ta e vm então em
27 se hb e pa e ta e va então ema
28 se hm e pb e tb e vb então emb
29 se hm e pb e tb e vm então emb
30 se hm e pb e tb e va então emb
31 se hm e pb e tm e vb então emb
32 se hm e pb e tm e vm então em
33 se hm e pb e tm e va então em
34 se hm e pb e ta e vb então em
35 se hm e pb e ta e vm então em
36 se hm e pb e ta e va então ema
37 se hm e pm e tb e vb então emb
38 se hm e pm e tb e vm então emb
39 se hm e pm e tb e va então em
40 se hm e pm e tm e vb então em
41 se hm e pm e tm e vm então em
42 se hm e pm e tm e va então em
43 se hm e pm e ta e vb então em
44 se hm e pm e ta e vm então ema

45	se hm e pm	e ta	e va	então ema
46	se hm e pa	e tb	e vb	então emb
47	se hm e pa	e tb	e vm	então em
48	se hm e pa	e tb	e va	então em
49	se hm e pa	e tm	e vb	então em
50	se hm e pa	e tm	e vm	então em
51	se hm e pa	e tm	e va	então ema
52	se hm e pa	e ta	e vb	então ema
53	se hm e pa	e ta	e vm	então ema
54	se hm e pa	e ta	e va	então ema
55	se ha e pb	e tb	e vb	então emb
56	se ha e pb	e tb	e vm	então em
57	se ha e pb	e tb	e va	então em
58	se ha e pb	e tm	e vb	então em
59	se ha e pb	e tm	e vm	então em
60	se ha e pb	e tm	e va	então ema
61	se ha e pb	e ta	e vb	então ema
62	se ha e pb	e ta	e vm	então ema
63	se ha e pb	e ta	e va	então ema
64	se ha e pm	e tb	e vb	então em
65	se ha e pm	e tb	e vm	então em
66	se ha e pm	e tb	e va	então em
67	se ha e pm	e tm	e vb	então em
68	se ha e pm	e tm	e vm	então ema
69	se ha e pm	e tm	e va	então ema
70	se ha e pm	e ta	e vb	então ema
71	se ha e pm	e ta	e vm	então ema
72	se ha e pm	e ta	e va	então ea
73	se ha e pa	e tb	e vb	então em
74	se ha e pa	e tb	e vm	então em
75	se ha e pa	e tb	e va	então ema
76	se ha e pa	e tm	e vb	então ema
77	se ha e pa	e tm	e vm	então ema
78	se ha e pa	e tm	e va	então ema
79	se ha e pa	e ta	e vb	então ema
80	se ha e pa	e ta	e vm	então ea
81	se ha e pa	e ta	e va	então ea

1	se hb	e mb	e tb	então eb
2	se hb	e mb	e tm	então emb
3	se hb	e mb	e ta	então em
4	se hb	e mm	e tb	então eb
5	se hb	e mm	e tm	então emb
6	se hb	e mm	e ta	então em
7	se hb	e ma	e tb	então emb
8	se hb	e ma	e tm	então em
9	se hb	e ma	e ta	então em
10	se hm	e mb	e tb	então emb
11	se hm	e mb	e tm	então em
12	se hm	e mb	e ta	então em
13	se hm	e mm	e tb	então emb
14	se hm	e mm	e tm	então em
15	se hm	e mm	e ta	então ema
16	se hm	e ma	e tb	então em
17	se hm	e ma	e tm	então em
18	se hm	e ma	e ta	então ema
19	se ha	e mb	e tb	então em
20	se ha	e mb	e tm	então em
21	se ha	e mb	e ta	então ema
22	se ha	e mm	e tb	então em
23	se ha	e mm	e tm	então ema
24	se ha	e mm	e ta	então ea
25	se ha	e ma	e tb	então em
26	se ha	e ma	e tm	então ema
27	se ha	e ma	e ta	então ea

Regras de inferência para a atribuição do esforço 4, sendo hb = horas de limpeza baixo, hm = horas de limpeza médio, ha = horas de limpeza alto, mb = material de limpeza baixo, mm = material de limpeza médio, ma = material de limpeza alto, tb = toxidade baixo, tm = toxidade médio, ta = toxidade alto, eb = esforço baixo, emb = esforço mediobaixo, em = esforço medio, ema = esforço medioalto, ea = esforço alto.