

LÓGICA NEURO-FUZZY APLICADA À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE UM PROGRAMA DE FOMENTO FLORESTAL*

*** Artigo elaborado com Bolsa de Doutorado do CNPq e CAPES para o primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa para o segundo.**

Erlon Barbosa Valdetaro (evaldetaro@yahoo.com)*

***Doutor em Ciência Florestal**

Elias Silva (eshamir@ufv.br) *

***Professor Titular – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 36.570-900**

*** Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Processo: 300693/2013**

Helio Garcia Leite (hgleite@ufv.br)*

***Professor Titular – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 36.570-900**

1. Introdução e Justificativa

Ditado pelo crescimento econômico, que traz de forma inerente a implantação de empreendimentos impactantes, no Brasil, é cada vez mais comum e exigida à realização de estudos de impacto ambiental. Com o advento da tecnologia e a sua facilidade de acesso, os profissionais que realizam este tipo de estudo têm buscado recursos que facilitem o desenvolvimento de seus trabalhos, bem como o aperfeiçoamento da apresentação de seus resultados.

Sendo assim, em todas as áreas do conhecimento é cada vez mais comum a adoção de sistemas inteligentes para tomada de decisão e os profissionais dedicados aos estudos ambientais também têm adotado esta postura.

Desse modo, cresce, a cada dia, o uso de programas de inteligência artificial, cada vez mais avançados, que auxiliam os profissionais em todas as áreas do conhecimento. Também, são cada vez maiores as áreas de aplicações destes programas como diagnósticos médicos, reconhecimento e análise de imagens, modelos preditivos, estimativas econômicas, entre outras (CHAVES, 2013).

Um grande avanço nas pesquisas atuais foi o uso da Inteligência Artificial (IA). Essa tecnologia é definida por Rezende (2003) como sendo a capacidade da ciência da

computação, voltada à execução das funções que são desempenhadas pelos seres humanos, isto é, imitar a inteligência na compreensão da linguagem e da visão, aprendizado, raciocínio lógico, resolução de problemas simples ou complexos, dentre outros.

Nesse aspecto, os sistemas *neuro-fuzzy* podem ser considerados como um sistema de inteligência artificial híbrido, pois combina redes neurais artificiais e lógica *Fuzzy* (FULLÉR, 1995).

Fullér (1995) afirmou que as redes neurais são indicadas para o reconhecimento de padrões, mas ineficientes para explicar como as suas decisões são tomadas, enquanto os sistemas de lógica *fuzzy* são capazes de explicar suas decisões a partir do raciocínio com informações imprecisas, mas incapazes de ajustar, automaticamente, suas regras de decisão. Dessa maneira, a utilização de um sistema híbrido incorpora as vantagens das duas ferramentas, o que implica dizer que pode ser aplicado em uma maior quantidade de situações, incluindo-se a área de avaliação de impactos ambientais.

Na literatura científica encontram-se estudos aplicando sistemas *neuro-fuzzy* em diversas áreas do conhecimento incluindo a ambiência.

Assim, Noori et al. (2010), analisaram a previsão da concentração de monóxido de carbono (CO), utilizando redes neurais artificiais e modelos ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) no Irã.

Também Savic et al. (2013) utilizaram modelo ANFIS para a previsão da concentração de dióxido de enxofre (SO₂) em área urbana na Sérvia.

Um sistema *neuro-fuzzy* foi empregado por Khoshnevisan et al. (2013) na avaliação de impactos ambientais de plantações de morango, em campo aberto e estufa, na província de Guilan, no Irã.

Armaghani et al. (2015) usaram o sistema ANFIS na previsão de impactos ambientais de uma pedreira de jateamento e concluíram que o modelo *neuro-fuzzy* foi superior ao das redes neurais na predição dos picos de velocidade das partículas e do ar sob pressão.

Sabe-se, enfim, que o perfil das pesquisas tende a se alterar muito rápido com o avanço da ciência, devido aos métodos e técnicas estarem em contínua transformação, o que contribui, significativamente, para o surgimento de novos padrões de investigação científica (CARVALHO et al., 2006).

Daí, o interesse deste estudo nos sistemas *neuro-fuzzy*. Eles representam inovação e podem, de forma simples e objetiva, serem aplicados nas diversas áreas da

ambiência, principalmente em estudos de impactos ambientais, ou, mais precisamente, com o uso de matrizes de interação.

2. Objetivos

O objetivo geral do estudo foi avaliar a eficiência do emprego da lógica *neuro-fuzzy* na avaliação de impactos ambientais realizada para um programa de fomento florestal com o método de matrizes de interação.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar, pelo uso da lógica *neuro-fuzzy*, a possibilidade de estimar o grau de impacto ambiental (avaliação quantitativa) a partir de suas variáveis qualitativas.
- Verificar o potencial de síntese de algumas informações extraídas das matrizes de interação, por meio do uso de gráficos, facilitando o seu entendimento e tornando mais compreensível os seus resultados em audiências públicas ou mesmo para os técnicos que avaliam os estudos.

3. Metodologia

De forma inédita termos mundiais, utilizou-se a técnica de modelagem *neuro-fuzzy* para previsão do grau de impactos ambientais a partir de dados qualitativos provenientes de matrizes de interação.

Os dados reais foram extraídos das matrizes de interação produzidas por Valdetaro (2011), em um estudo qualitativo/quantitativo de impactos ambientais de um programa de fomento florestal (veja Apêndices I a VI). Deste mesmo estudo, foram extraídos os valores do grau de impacto (variáveis quantitativas) utilizados no treinamento do modelo *neuro-fuzzy*.

As análises foram realizadas no software Matlab® versão 2015a (MATLAB®, 2015).

3.1 Sistema *Neuro-fuzzy*

Um conjunto *fuzzy* é definido como algo sem uma fronteira bem definida, sendo gradual a transição entre pertencer ou não ao conjunto (JANG & SUN, 1995). Sob essa lógica, contrariando o que é preconizado na teoria clássica dos conjuntos, cada elemento possui um valor de pertencimento ao conjunto que varia entre 0 e 1, seguindo uma

distribuição contínua apropriada (função de pertinência), a exemplo as funções triangular, trapezoidal e Gaussiana (ZADEH, 1965). Esse mesmo autor mostra que os conjuntos *fuzzy* possuem operações similares aos conjuntos tradicionais, como união, intersecção e complemento. Ainda, possuem dois operadores AND (T-norm) e OR (T-conorm), que realizam operações de produto e soma, em termos dos valores das funções de pertencimento de dois conjuntos *fuzzy*, respectivamente.

A lógica *fuzzy* possui regras do tipo SE-ENTÃO da forma “se x é A então y é B ” (JANG, 1995), em que A e B são valores linguísticos, sendo “ x é A ” chamado de antecedente e “ y é B ” chamado de consequente.

Para o processo de conversão de entradas em saídas, adotam-se diferentes modelos de inferência *fuzzy*, destacando-se os modelos Mandani, Tsukamoto e Takagi Sugeno.

O modelo Takagi Sugeno, que também é chamado de Sugeno, possui regras do tipo “se x é A e y é B então $z = f(x, y)$ ”, em que A e B são conjuntos *fuzzy* antecedentes e $z = f(x, y)$ é o conjunto consequente (JANG et al, 1997). A função f é um polinômio, referenciado em função de seu grau, no qual o consequente de cada regra é uma combinação linear das entradas. Tal modelo não envolve um processo de defuzzificação e a saída é uma combinação linear ponderada dos consequentes (IBRAHIM, 2003). A defuzzificação é uma etapa onde é dado um peso às diversas respostas fornecidas pelas regras lógicas e atribui-se à saída um número. Esse número retrata a pertinência de uma variável na função estudada. O processo de defuzzificação produz uma saída precisa, a partir do conjunto fuzzy de saída obtido pelo sistema de inferência.

O sistema Takagi-Sugeno, com duas entradas (x e y) e duas regras (R^1 e R^2) (Heddam et al., 2012) pode ser representado como:

$$R^1 = \text{SE } (x \text{ é } A_1) \text{ E } (y \text{ é } B_1) \text{ ENTÃO } (f_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + c_1) \quad (1)$$

$$R^2 = \text{SE } (x \text{ é } A_2) \text{ E } (y \text{ é } B_2) \text{ ENTÃO } (f_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + c_2) \quad (2)$$

Nesse caso, A_1 e A_2 são conjuntos *fuzzy*, f_1 e f_2 são as saídas especificadas pelas regras e p_1 , q_1 , c_1 , p_2 , q_2 e c_2 são parâmetros definidos durante o treinamento. Um modelo ANFIS, sigla em inglês para Sistema de Inferência Adaptativo Neuro-Fuzzy, considerando as regras (1) e (2), pode ser ilustrado conforme Figura 1.

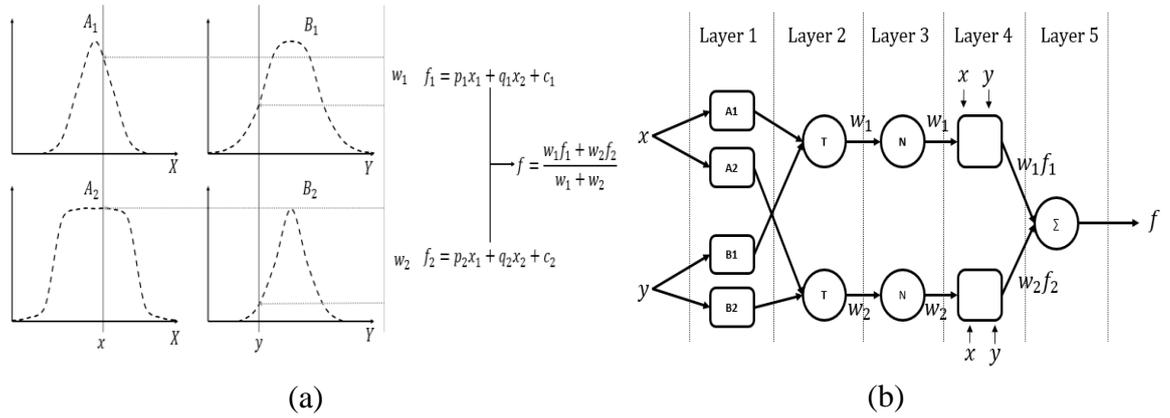


Figura 1 - Esquema de um sistema ANFIS. Adaptado de Heddham et al. (2012).

A Figura 1(b) contém a estrutura ANFIS com a seguinte descrição para cada camada (HEDDAM et al., 2012):

- *Layer 1*: cada nó, representado por A_1 , A_2 , B_1 e B_2 possui uma Função de Pertinência (*Membership Function* - MF) associada. Desse modo, a camada tem como entradas (*inputs*) os valores x e y e, como saída, o resultado da MF. Se a MF for a Gaussiana, a função de pertinência para o conjunto A_1 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mu_{A_1}(x) = \exp \left[-0.5 \left\{ \frac{(x - c_i)}{\sigma_i} \right\}^2 \right] \quad (3)$$

em que σ_i e c_i são parâmetros ajustados.

- *Layer 2*: cada componente desta camada representa uma regra de inferência fuzzy, conforme (1) e (2). A saída w_i é, neste caso, o produto das entradas (t-norma).

- *Layer 3*: ocorre a normalização das saídas do *Layer 2*. Assim, tem-se a razão da i -ésima regra pela soma de todas as regras:

$$w'_i = \frac{w_i}{(w_1 + w_2 + \dots + w_n)} \quad (4)$$

- *Layer 4*: é a camada que possui os polinômios do conjunto consequente. A saída de tal *layer* é o produto da saída da *layer 3* pelo valor do polinômio:

$$w'_i f_i = w'_i (p_i x + q_i y + c_i) \quad (5)$$

em que p_i , q_i e c_i são parâmetros ajustados.

- *Layer 5*: camada que irá gerar o somatório das saídas da *Layer 4*, representando assim a saída global do sistema.

$$Saída = \sum_{i=1}^n w'_i \cdot f_i \quad (6)$$

Dessa maneira, o aprendizado do sistema compreende a alteração dos parâmetros das camadas (*layers*) 1 e 4, de modo que as saídas sejam as mais verossímeis em relação aos valores utilizados no treinamento. Para isso, dois processos podem ser adotados: *backpropagation* ou *hybrid*. O primeiro compreende o método do gradiente descendente, no qual o vetor gradiente é determinado a partir do algoritmo de retro propagação do erro (Usberti, 2007); já o segundo processo combina o método de mínimos quadrados (LS) com o método do gradiente descendente. Assim, o sistema encontra os parâmetros do consequente por LS a partir de parâmetros fixos para as funções de pertinência; com isto, os parâmetros do antecedente são calculados por *backpropagation* a partir dos erros de saída (HEDDAM et al., 2012).

O modelo *neuro-fuzzy* deste estudo, baseado no processo de inferência de Takagi-Sugeno, foi desenvolvido utilizando três funções de pertinência para o critério de meio (físico, biótico e antrópico), duas para o critério de valor (positivo e negativo), duas para o critério de ordem (direto e indireto), três para o critério de espaço (local, regional e estratégico), três para o critério de tempo (curto prazo, médio prazo e longo prazo), três para o critério de dinâmica (temporário, cíclico e permanente) e duas para o critério de Plástica (reversível e irreversível).

Para este estudo foi gerada a seguinte estrutura (Figura 2):

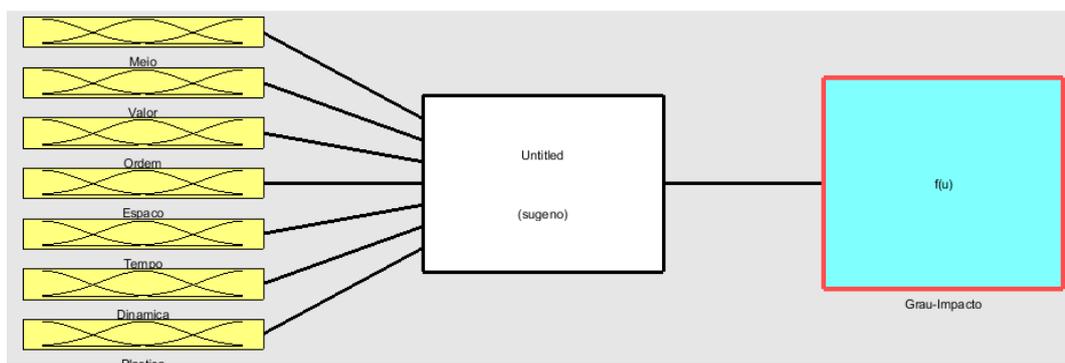


Figura 2 - Estrutura do modelo *neuro-fuzzy* Sugeno para o estudo proposto.

Considerando todas essas funções de pertinência possíveis, quando combinadas têm-se 648 combinações (regras) factíveis ($3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2$), a partir da combinação de resposta de cada critério. Nesse estudo, fazem parte do conjunto de regras no sistema *neuro-fuzzy* somente aquelas efetivamente presentes nas matrizes de interação objeto da pesquisa. Estas foram utilizadas no treinamento e checagem do sistema, totalizando 87 regras, a partir da consideração dos 473 impactos ambientais efetivamente identificados por Valdetaro (2011) nas matrizes de interação.

As variáveis de entrada para o modelo *neuro-fuzzy* são o meio, o valor, a ordem, o espaço, o tempo, a dinâmica e a plástica dos impactos ambientais analisados. Os dados de entrada, variáveis numéricas nominais, utilizados para elaborar o modelo *neuro-fuzzy* são apresentados na Tabela 1, mostrando a classificação das variáveis de entrada, obtida na base de dados com valor mínimo e máximo (universo de discurso).

Tabela 1 - Dados de entrada e suas respectivas classificações numéricas.

Variável de entrada	Classificação numérica
Meio	1 (Físico); 2 (Biótico) ou 3 (Antrópico)
Valor	1 (Positivo) ou 2 (Negativo)
Ordem	1 (Direto) ou 2 (Indireto)
Espaço	1 (Local); 2 (Regional) ou 3 (Estratégico)
Tempo	1 (Curto Prazo); 2 (Médio Prazo) ou 3 (Longo Prazo)
Dinâmica	1 (Temporário); 2 (Cíclico) ou 3 (Permanente)
Plástica	1 (Reversível) ou 2 (Irreversível)

Cada variável de entrada é expressa em uma, duas ou três alternativas de resposta (Tabela 1). Essas respostas são definidas a partir das funções de pertinência de cada variável, dentro do horizonte de variação de cada uma delas.

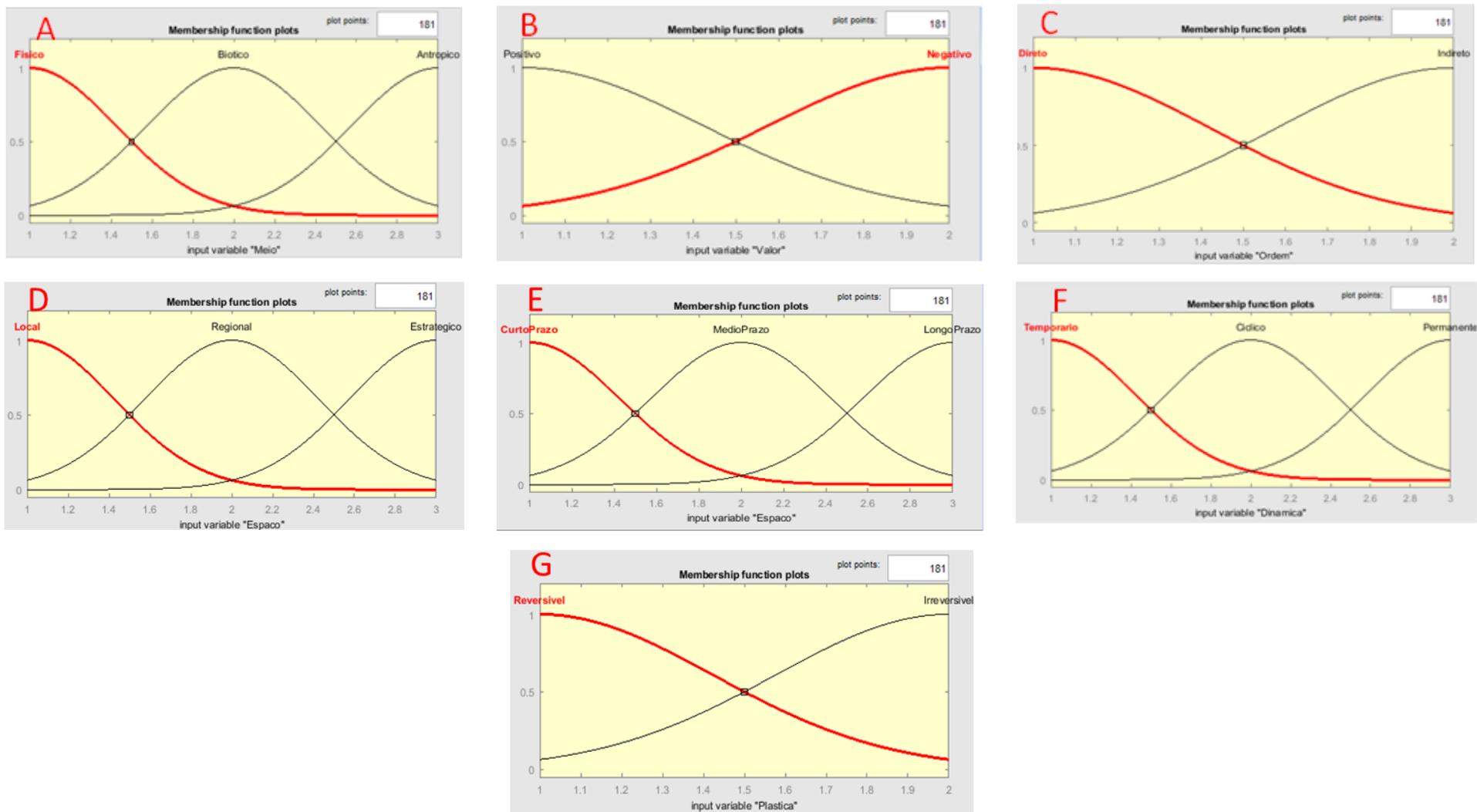
O uso da função de pertinência é considerado, por muitos pesquisadores, bastante subjetivo. Quando uma função é especificada para um mesmo conceito, esta pode apresentar resultados variados, quando definida por especialistas diferentes (OLIVEIRA JUNIOR et al. 2007). Além de representar os limites de cada conjunto *fuzzy*, a função de pertinência define o quanto um elemento pertence a este conjunto (CHAVES, 2013).

Neste estudo, foi utilizada a Função de Pertinência de Gauss e a classificação de cada variável de entrada foi feita com base nos valores máximos e mínimos dos dados.

Para a tabulação dos dados das matrizes de interação, os meios físico, biótico e antrópico receberam as variáveis numéricas 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 3-A).

O grau de pertinência varia de 0 a 1 no eixo vertical. No eixo horizontal, a partir do ponto de inflexão de cada curva, a classificação do critério analisado resulta no intervalo entre 0,5 a 1,5 para físico, 1,5 a 2,5 para biótico e 2,5 a 3,5 para antrópico.

Figura 3 - Gráficos das funções de pertinência para os critérios de meio (A), valor (B), ordem (C), espaço(D), tempo (E), dinâmica (F) e plástica (G).



Na tabulação dos dados do critério de valor, o impacto positivo recebeu a variável numérica 1 e o negativo 2, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para positivo e 1,5 a 2,5 para negativo (Figura 3-B).

Na tabulação dos dados do critério de ordem, o impacto direto recebeu a variável numérica 1 e o indireto 2, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para direto e 1,5 a 2,5 para indireto (Figura 3-C).

Na tabulação dos dados do critério de espaço, os impactos local, regional e estratégico receberam as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para local e 1,5 a 2,5 para regional e 2,5 a 3,5 para estratégico (Figura 3-D).

Na tabulação dos dados do critério de tempo os impactos de curto prazo, médio prazo e longo prazo receberam as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para curto prazo e 1,5 a 2,5 para médio prazo e 2,5 a 3,5 para longo prazo (Figura 3-E).

No critério de dinâmica a tabulação dos dados atribuiu aos impactos temporários, cíclicos e permanentes as variáveis numéricas 1, 2, e 3, respectivamente, sendo considerado o intervalo de 0,5 a 1,5 para temporário e 1,5 a 2,5 para cíclico e 2,5 a 3,5 para permanente (Figura 3-F).

O critério de plástica recebeu a variável numérica 1 para impactos reversíveis e a 2 para os irreversíveis, com intervalo definido de 0,5 a 1,5 para reversível e 1,5 a 2,5 para irreversível (Figura 3-G).

3.1.1 Conjunto de regras

Na combinação das entradas que constavam nas matrizes de interação, construindo 87 regras, foi possível observar que elas são factíveis; por isso, todas as regras receberam peso um.

A Figura 4 apresenta parte da base de regras editada no *toolbox fuzzy* do Matlab®.

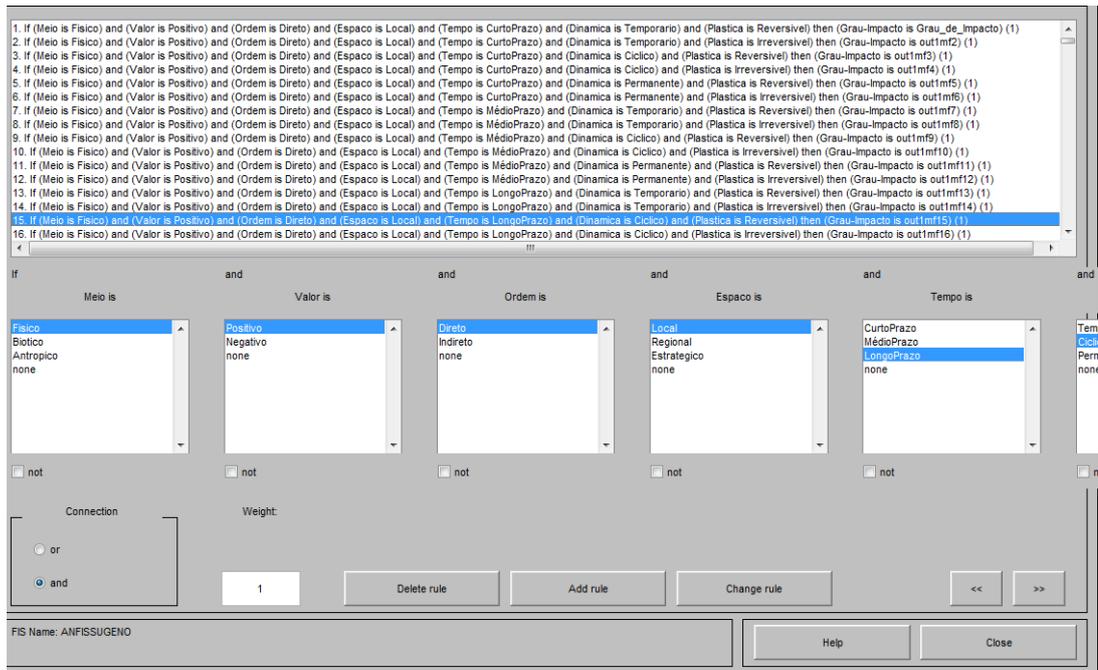


Figura 4 – Exemplo de parte da base de regras *fuzzy* editadas no programa Matlab®.

3.1.2 Arquitetura do Sistema ANFIS

O sistema ANFIS criado para este estudo possui sete entradas (*input*). A camada um (*inputmf*) apresenta duas ou três funções de pertinência para cada uma das entradas; na camada três (*rules*) tem-se a agregação das 87 regras; e por último, uma saída (*output*).

Nesta janela é possível visualizar a arquitetura da rede gerada pelo ANFIS, como mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

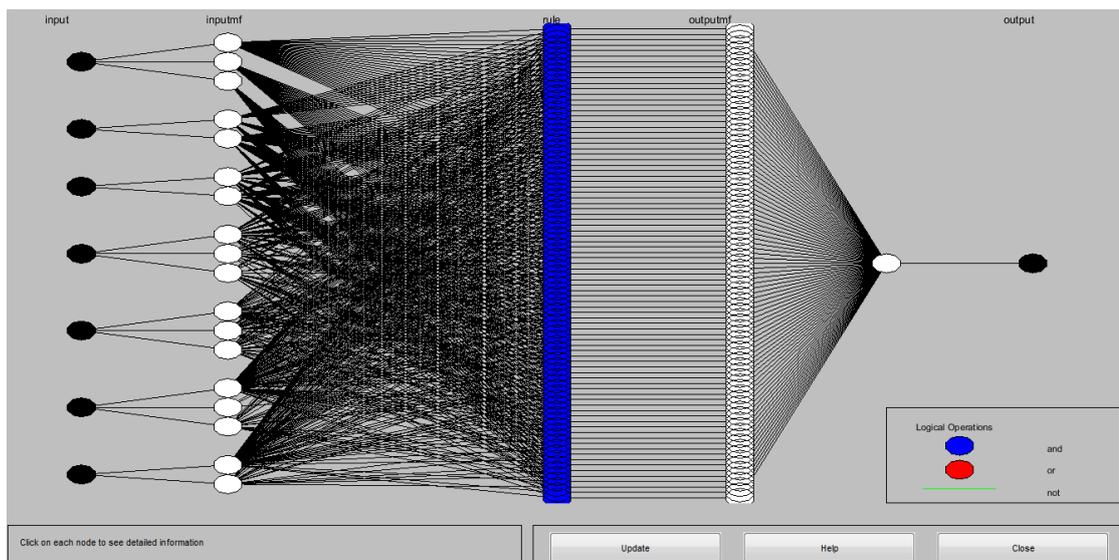


Figura 5 - Estrutura ANFIS usada no estudo.

3.1.3 Análise dos dados

Para o treinamento do modelo neuro-fuzzy, optou-se pelo uso do método híbrido. Este método consiste na combinação dos métodos de *back-propagation* e dos mínimos quadrados; o primeiro foi associado às estimativas dos parâmetros das funções de pertinência de entrada, e o segundo, associado às estimativas dos parâmetros de saída das funções de pertinência.

Na fase de treinamento do modelo existem dois parâmetros para o critério de parada do treinamento dos dados: a tolerância de erro e o número de ciclos (épocas).

A tolerância de erro é utilizada para criar um critério de paragem do treinamento, que está relacionado com o tamanho de erro (KAUR & DHINDSA, 2014). O treinamento irá parar depois que o erro de dados de treinamento permanece dentro desta tolerância, que deve ser um valor muito pequeno para o caso de não se conhecer o comportamento do erro durante o treinamento (SILVA, 2014). Por este motivo adotou-se, para esse estudo, o valor de 0,05.

Outro parâmetro é o número de ciclo (ou época). Uma época corresponde à apresentação completa de todos os elementos do conjunto de treinamento acompanhada dos ajustes de pesos da rede (SOARES & SILVA, 2011). Assim, com um critério de parada baseado no número de épocas, o treinamento de uma rede é encerrado logo após atingir uma determinada quantidade de épocas (BINOTI, 2012). O critério denominado convergência define o número de ciclos após o qual, se o erro médio não diminuir, o treinamento é finalizado (BRAGA, 2007).

Nesse estudo optou-se pelo número de 50 épocas, por que a partir daí o erro de treinamento permaneceu constante, ou seja, não diminuiu.

Para o sistema de inferência, foi utilizado o modelo de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno (JANG & SUN, 1995). O treinamento do sistema foi feito utilizando o método híbrido, que combinou os métodos *back-propagation*, para os parâmetros das funções de pertinência das entradas, e mínimos quadrados, para ajustar os coeficientes dos polinômios das saídas (SILVA et al., 2014).

No presente estudo, foram incluídos todos os dados referentes aos impactos ambientais das matrizes de interação consideradas para desenvolver o modelo. Estes perfazem 473 impactos. Ou seja, 331 impactos ambientais foram utilizados para treinamento (70%), 15% para teste (71 impactos ambientais) e outros 15% para validação do modelo.

4. Resultados e Discussão

4.1 Estimativa do grau de impacto pelo modelo *Neuro-fuzzy*

Este estudo é pioneiro no uso da lógica *neuro-fuzzy* para avaliação quantitativa de impactos ambientais, a partir de dados qualitativos, extraídos de matrizes de interação.

Apesar do caráter pioneiro e, de certo modo, prospectivo, o modelo *neuro-fuzzy* testado estimou de forma precisa o grau de impacto baseado nas características qualitativas de cada um deles.

A escala do grau de impacto estimado se mostrou semelhante à escala de grau de impacto dos dados reais, ou seja, presentes nas matrizes quantitativas. Esse fato se deu pela escolha do método de análise *Back-propagation grid partition*. De acordo com Mesiarová-Zemánková & Ahmad (2010), sua utilização é mais justificada quando se tem pequena quantidade de variáveis de entrada e de funções de pertinência, o que não gera um grande número de regras nebulosas, que reduz a capacidade avaliativa do sistema.

A Figura 6 apresenta o quão próximo ou distante o sistema está do resultado e também apresenta o erro de treinamento obtido pelo modelo (0.86973). Esse erro é menor que o encontrado por Chaves (2013) que utilizou um sistema *neuro-fuzzy* parecido com o deste estudo, mas adaptado para avaliar os efeitos da poluição no ar e obteve um erro de 2,691.

O erro de treinamento representa a diferença entre a resposta desejada e a saída de rede (SOARES & SILVA, 2011).

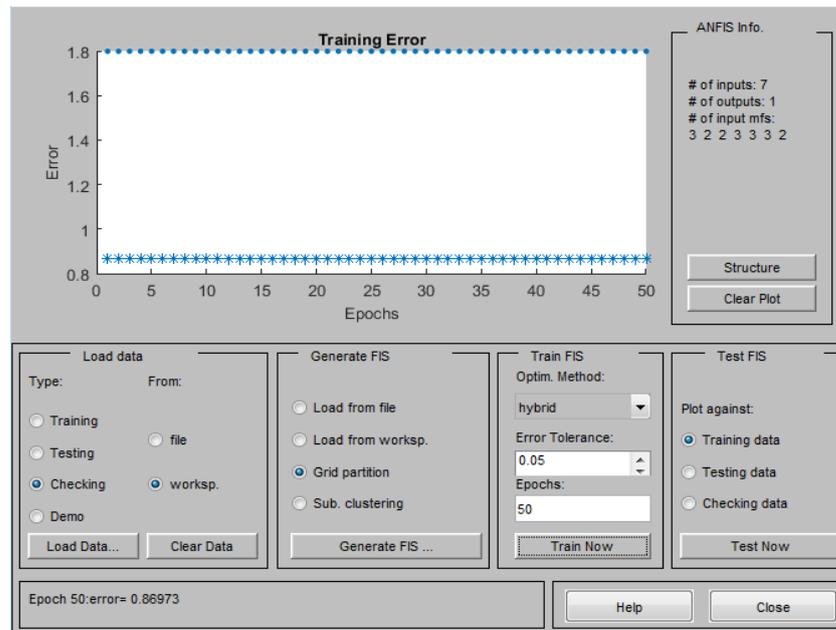


Figura 6 - Janela de treinamento do sistema *neuro-fuzzy* evidenciando o erro de treinamento da ordem de 0,86973.

Na Tabela 2 são apresentados os graus de impacto estimados pelo sistema para cada regra analisada.

Tabela 2 - Grau de impacto estimado pelo modelo *neuro-fuzzy* para cada regra elaborada.

Antecedente	Regra	Grau de impacto	Antecedente	Regra	Grau de impacto
[FPDLCTV]	[1 1 1 1 1 1 1]	3,59	[BNDLMTV]	[2 2 1 1 2 1 1]	0,32
[FPDLM TV]	[1 1 1 1 2 1 1]	0,61	[BNDLOTV]	[2 2 1 1 3 1 1]	2,18
[FPDLOTV]	[1 1 1 1 3 1 1]	6,02	[BNDRCTV]	[2 2 1 2 1 1 1]	2,70
[FPDECTV]	[1 1 1 3 1 1 1]	1,26	[BNDROTV]	[2 2 1 2 3 1 1]	0,31
[FPILCTV]	[1 1 2 1 1 1 1]	1,95	[BNDECTV]	[2 2 1 3 1 1 1]	3,10
[FPILMTV]	[1 1 2 1 2 1 1]	0,26	[BNILCTV]	[2 2 2 1 1 1 1]	0,80
[FPILOTV]	[1 1 2 1 3 1 1]	2,19	[BNILMTV]	[2 2 2 1 2 1 1]	0,12
[FPIRMTV]	[1 1 2 2 2 1 1]	2,59	[BNILMAS]	[2 2 2 1 2 3 2]	0,06
[FPIECTV]	[1 1 2 3 1 1 1]	4,69	[BNIRCTV]	[2 2 2 2 1 1 1]	1,15
[FPIECAS]	[1 1 2 3 1 3 2]	3,22	[BNIRMTV]	[2 2 2 2 2 1 1]	2,01
[FPIEMTV]	[1 1 2 3 2 1 1]	2,87	[BNIRMAS]	[2 2 2 2 2 3 2]	0,19
[FNDLCTV]	[1 2 1 1 1 1 1]	1,81	[BNIROTV]	[2 2 2 2 3 1 1]	0,22
[FNDLMTV]	[1 2 1 1 2 1 1]	0,18	[BNIROAS]	[2 2 2 2 3 3 2]	1,05
[FNDLOTV]	[1 2 1 1 3 1 1]	1,04	[BNIECTV]	[2 2 2 3 1 1 1]	3,22
[FNDLOAS]	[1 2 1 1 3 3 2]	0,86	[BNILOTV]	[2 2 2 1 3 1 1]	1,82
[FNDRCTV]	[1 2 1 2 1 1 1]	1,61	[BNIECAS]	[2 2 2 3 1 3 2]	2,15
[FNDRCAS]	[1 2 1 2 1 3 2]	2,08	[BNIEMTV]	[2 2 2 3 2 1 1]	3,35
[FNDROTV]	[1 2 1 2 3 1 1]	2,03	[aPDLCTV]	[3 1 1 1 1 1 1]	2,40
[FNDROAS]	[1 2 1 2 3 3 2]	0,30	[aPDLMTV]	[3 1 1 1 2 1 1]	0,27
[FNDECTV]	[1 2 1 3 1 1 1]	1,99	[aPDLOTV]	[3 1 1 1 3 1 1]	1,86
[FNDEMTV]	[1 2 1 3 2 1 1]	2,12	[aPDRCTV]	[3 1 1 2 1 1 1]	0,62
[FNILCTV]	[1 2 2 1 1 1 1]	3,12	[aPDRCAS]	[3 1 1 2 1 3 2]	1,91
[FNILMTV]	[1 2 2 1 2 1 1]	0,37	[aPDROTV]	[3 1 1 2 3 1 1]	0,29
[FNILMAS]	[1 2 2 1 2 3 2]	0,79	[aPDECTV]	[3 1 1 3 1 1 1]	4,36
[FNILOTV]	[1 2 2 1 3 1 1]	2,73	[aPDECYV]	[3 1 1 3 1 2 1]	2,92
[FNIRCTV]	[1 2 2 2 1 1 1]	1,91	[aPDECAS]	[3 1 1 3 1 3 2]	3,54
[FNIRMTV]	[1 2 2 2 2 1 1]	0,19	[aPDEM AS]	[3 1 1 3 2 3 2]	0,23
[FNIRMAS]	[1 2 2 2 2 3 2]	1,92	[aPDEOTV]	[3 1 1 3 3 1 1]	0,11
[FNIROAS]	[1 2 2 2 3 1 1]	1,15	[aPILCTV]	[3 1 2 1 1 1 1]	6,30
[FNIROTV]	[1 2 2 2 3 3 2]	4,31	[aPILOTV]	[3 1 2 1 3 1 1]	2,03
[BPDLCTV]	[2 1 1 1 1 1 1]	2,26	[aPIRMTV]	[3 1 2 2 2 1 1]	6,38
[BPDLMTV]	[2 1 1 1 2 1 1]	0,22	[aPIECTV]	[3 1 2 3 1 1 1]	2,96
[BPDLOTV]	[2 1 1 1 3 1 1]	1,26	[aPIEMTV]	[3 1 2 3 2 1 1]	0,29
[BPILCYV]	[2 1 2 1 1 2 1]	1,99	[aPIEOTV]	[3 1 2 3 3 1 1]	1,66
[BPILMTV]	[2 1 2 1 2 1 1]	0,12	[aNDLCTV]	[3 2 1 1 1 1 1]	2,25
[BPILOTV]	[2 1 2 1 3 1 1]	1,53	[aNDLCAS]	[3 2 1 1 1 3 2]	3,40
[BPIRMTV]	[2 1 2 2 2 1 1]	2,62	[aNDLMTV]	[3 2 1 1 2 1 1]	0,24
[BPIEMTV]	[2 1 2 3 2 1 1]	1,26	[aNDLMAS]	[3 2 1 1 2 3 2]	0,36
[BPIEMAS]	[2 1 2 3 2 3 2]	1,40	[aNDLOTV]	[3 2 1 1 3 1 1]	1,52
[BNDLCTV]	[2 2 1 1 1 1 1]	2,82	[aNDLOAS]	[3 2 1 1 3 3 2]	2,23
[BNDLCYV]	[2 2 1 1 1 2 1]	1,96	[aNDRMAS]	[3 2 1 2 2 3 2]	0,04

...continua

Tabela 2, cont.

Antecedente	Regra	Grau de impacto	Antecedente	Regra	Grau de impacto
[a N D R O A S]	[3 2 1 2 3 3 2]	0,15			
[a N D E C T V]	[3 2 1 3 1 1 1]	4,89			
[a N D E C A S]	[3 2 1 3 1 3 2]	3,00			
[a N D E M T V]	[3 2 1 3 2 1 1]	9,04			
[a N I L M T V]	[3 2 2 1 2 1 1]	6,29			

Legenda: F (Meio Físico); B (Meio Biótico); a (Meio Antrópico); P (Positivo); N (Negativo); D (Direto); I (Indireto); L (Local); R (Regional); E (Estratégico); C (Curto Prazo); M (Médio Prazo); O (Longo Prazo); T (Temporário); Y (Cíclico); A (Permanente); V (Reversível); S (Irreversível).

Verifica-se que algumas das 87 regras existentes, ou mais precisamente 31 delas (35,6%) aparecem com o grau de impacto fora da escala testada (1-5). Isso ocorre devido à baixa frequência do tipo de impacto analisado, gerando pouca ou nenhuma variância. Esse fato dificulta a análise, pelo sistema, do padrão de ocorrência destes impactos e reduz a capacidade do mesmo de estimar o grau de impacto. Em outros termos, quando um tipo específico de impacto ocorre mais raramente, nos dados analisados, ele tem a estimativa do seu grau de impacto dificultada.

4.2 Gráficos de superfície

Parte dos resultados apresentados pela adoção de sistemas *neuro-fuzzy* na estimativa do valor do grau de impacto, pode ser expressa na forma de gráficos de superfície.

Esses gráficos permitem combinar até dois critérios de avaliação de impactos ambientais (valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica) com o grau de impacto dos mesmos, que é previamente calculado pelo sistema. Esses gráficos podem explicar, de maneira mais simples, objetiva e atrativa ao público em geral, os resultados encontrados nas matrizes de interação.

Conforme escolha do consultor (elaborador do estudo de impacto ambiental) e empreendedor (titular ou responsável pela obra impactante), essa combinação de critérios pode ser uma estratégia importante para atender às expectativas levantadas pelo público alvo de uma audiência pública.

Como é de amplo conhecimento dos técnicos que atuam no setor, nessas audiências, a combinação entre o critério de valor do impacto ambiental (positivo ou negativo) com o meio em que ocorre tem, quase sempre, tomado a maior parte da atenção das pessoas. Na prática, os atores sociais, partes envolvidas na avaliação de impactos ambientais, procuram fundamentalmente saber sobre a ocorrência dos

impactos negativos sobre o meio biótico (por exemplo, eventual perda de espécies endêmicas) e, também, qual o grau de impacto daqueles considerados positivos sobre o meio antrópico (por exemplo, número de empregos gerados).

Um exemplo da importância deste tipo de informação é observado quando o empreendimento afeta uma população tradicional, como tribos indígenas, comunidades quilombolas ou de ribeirinhos. Nas audiências públicas destes empreendimentos é enorme a preocupação quanto ao grau e ao critério de valor (se é positivo ou negativo) dos impactos que atingem o meio antrópico, notadamente em relação a essas minorias étnicas.

Na Figura 7, com os dados deste estudo, nota-se que os impactos de caráter positivo que ocorrem no meio físico são aqueles que possuem o maior grau de impacto. De modo contrário, os impactos negativos no meio antrópico são aqueles que possuem o menor grau de impacto, aproximando-se da avaliação quantitativa “desprezível”. Por sua vez, o meio biótico recebe impactos ambientais praticamente de mesmo grau, independente do valor, ou seja, se positivo ou negativo.

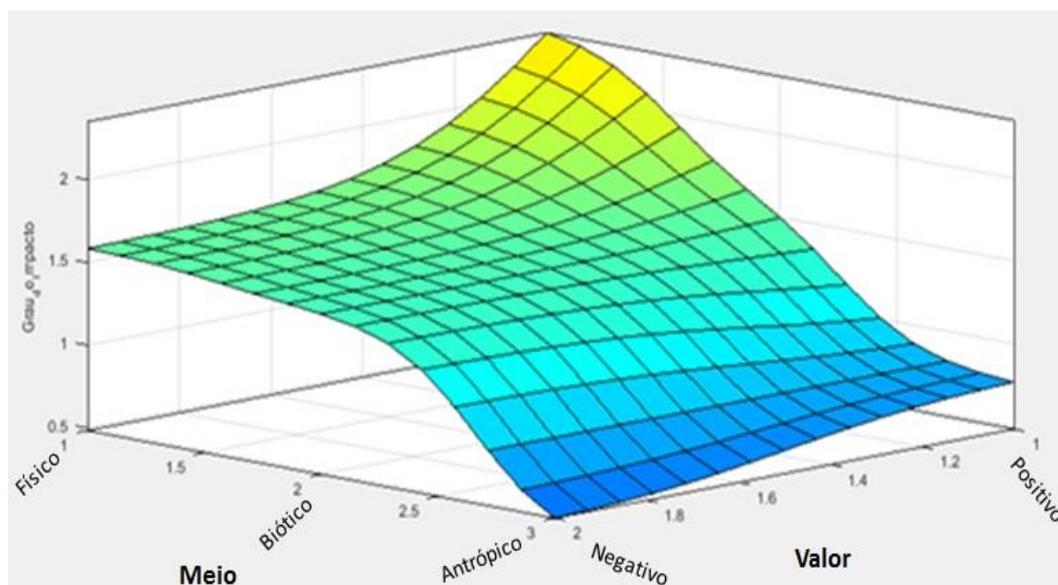


Figura 7 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e valor dos impactos ambientais, com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Em audiências públicas, são comuns questionamentos sobre os impactos ambientais negativos e, principalmente, em que meio eles ocorrem. Vale ressaltar que as matrizes de interação possuem essa informação, mas de forma implícita e de difícil interpretação para leigos, os quais perdem bastante tempo para extraí-las e interpretá-las, ou ainda, para realizar a contagem combinada dos impactos. Tal fato se agrava em

estudos de impactos ambientais de empreendimentos com grande potencial de alteração do ambiente. Vale lembrar que grandes obras, dada à sua complexidade, requerem a construção de matrizes de interação robustas (extensas), em que não raro se têm dezenas de linhas (ações impactantes) e colunas (fatores ambientais dos meios físico, biótico e antrópico), dificultando ainda mais a sua interpretação.

Ao se fazer uso desse tipo de gráfico (de superfície), a informação é repassada e esclarecida ao público de uma forma direta, didática, servindo, ainda, como preparação da equipe (consultores e empreendedores) para a audiência, uma vez que caberá a ela explicar os impactos identificados.

Outro critério de avaliação muito questionado em audiências públicas é o de plástica, que mostra a reversibilidade ou irreversibilidade do impacto ambiental. Nesse sentido, a região em amarelo na Figura 8 mostra que os impactos ocorridos no meio biótico, e que são irreversíveis, possuem maior grau de impacto que os demais, atingindo a escala de 2,5 e podem ser considerados, em média, como impactos de médio grau. Como se pode perceber, essa informação deve despertar a atenção do empreendedor com relação às medidas ambientais a serem adotadas para mitigar os impactos ambientais de caráter negativo e potencializar os de caráter positivo.

De sua parte, a região azul escuro na mesma figura evidencia que os impactos ambientais irreversíveis no meio antrópico são aqueles com menor grau de impacto. Assim, como informação estratégica, na medida em se estuda os três meios, se pode afirmar que o meio antrópico é aquele que recebe os impactos de menor grau, em média.

O meio biótico concentra os impactos de médio grau, enquanto o meio físico tem, quase como uma constante, recebido impactos ambientais de baixo grau.

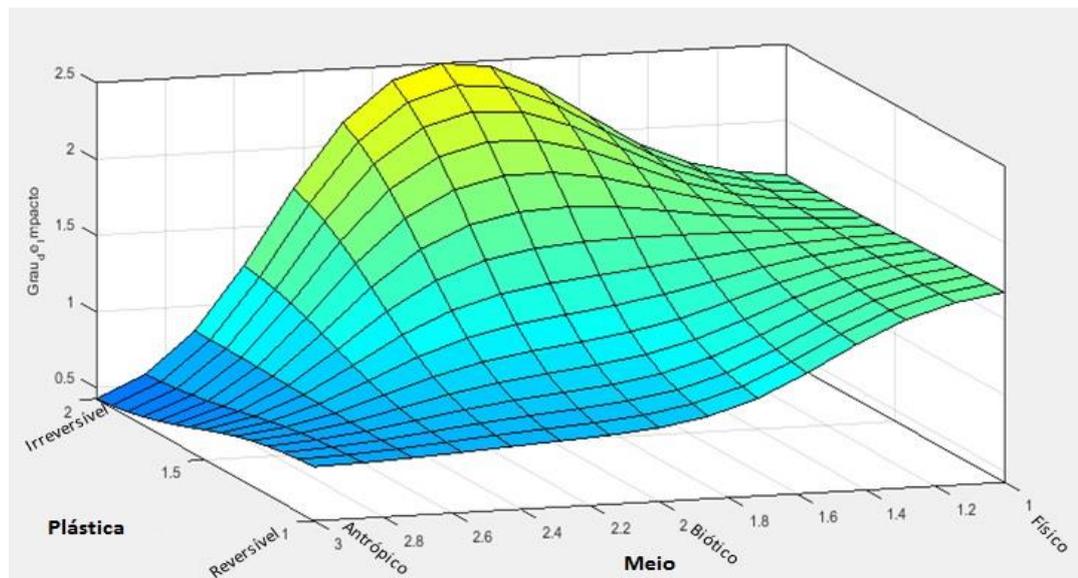


Figura 8 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e plástica dos impactos ambientais, com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Para o caso do empreendimento utilizado neste estudo, fica evidenciado que o meio biótico recebe os impactos irreversíveis de maior grau.

Evidenciar a ocorrência e a distribuição precisa dos impactos ambientais pode gerar informação de cunho estratégico para bem conduzir uma audiência pública, já que tem o potencial de esvaziar discussões infrutíferas, com o repasse da informação esclarecedora.

Na relação do critério de dinâmica do impacto, definindo se ele é temporário, cíclico ou permanente, com o meio onde ocorre (Figura 9), fica evidenciado que os impactos permanentes no meio biótico são aqueles com maior grau de impacto, ao passo que os considerados cíclicos que, em muitos casos, são mais difíceis de serem tratados, possuem menor grau de impacto, considerando os três meios estudados. Já os impactos de caráter temporário, em média, são avaliados como desprezíveis,

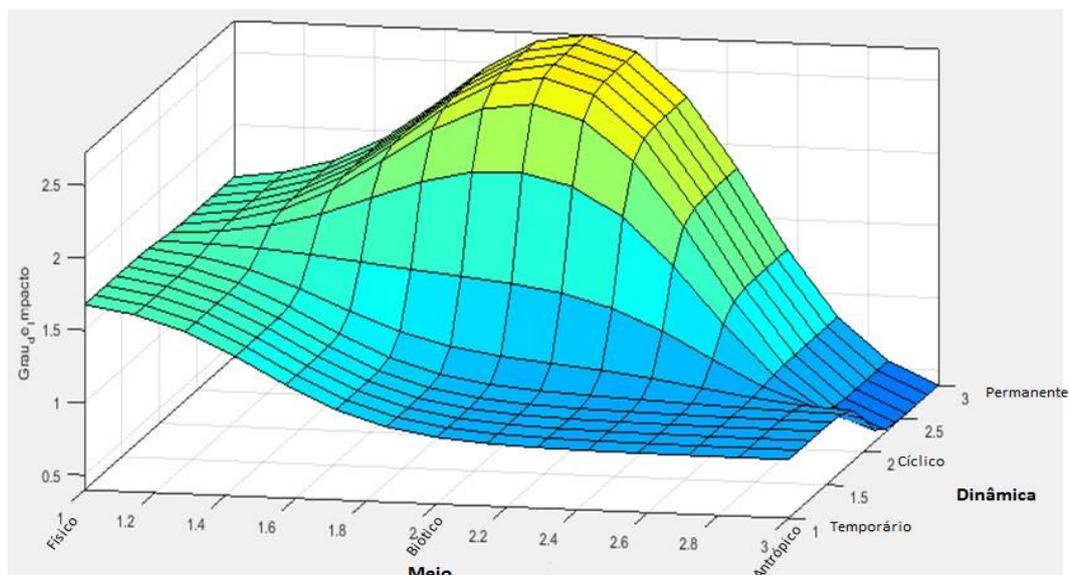


Figura 9 - Gráfico de superfície combinando os critérios de meio e dinâmica dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Também na Figura 9 se observa que os impactos ambientais temporários no meio biótico e antrópico são de grau desprezível (1), com valores um pouco menores que aqueles situados no meio físico (1,7) que podem ser considerados impactos de baixo grau.

A combinação dos critérios de valor e plástica (Figura 10) mostra que os impactos negativos e irreversíveis são aqueles que apresentam o maior grau de impacto (2,5) sendo considerados como de médio grau. De forma contrária, os impactos negativos e reversíveis são aqueles de menor grau (aproximadamente 1).

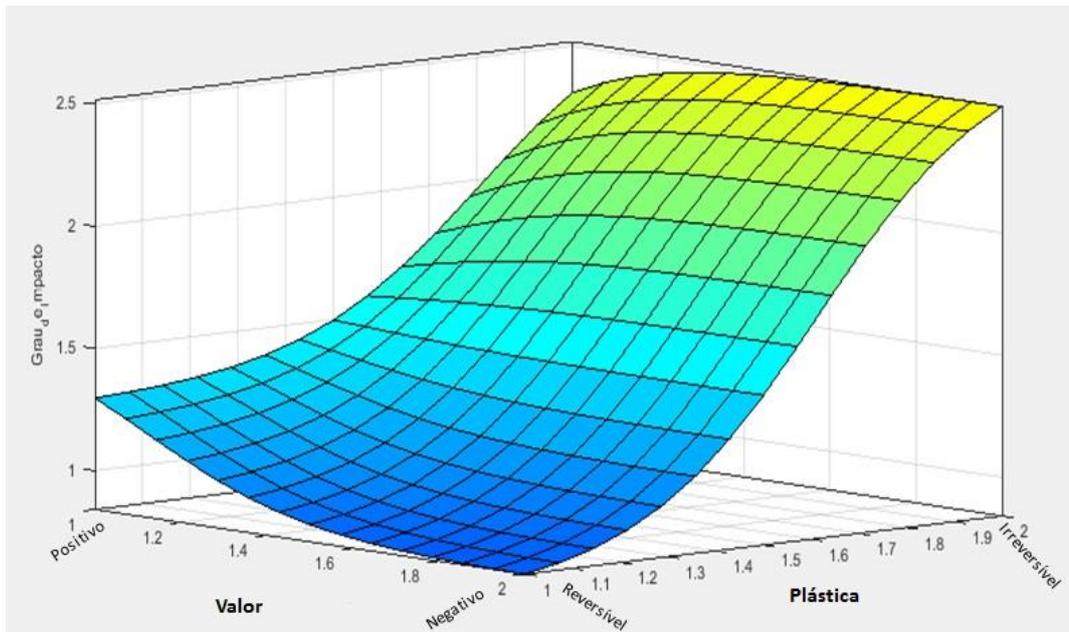


Figura 10 - Gráfico de superfície combinando os critérios de valor e plástica dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

Observa-se que os impactos de caráter irreversível são aqueles com maior grau de impacto, independentemente do valor (positivo ou negativo).

A combinação dos critérios de tempo e valor (Figura 11) mostra que os impactos tanto negativos quanto positivos de curto prazo são aqueles de maior grau. Os impactos de médio e longo prazo são constantes e possuem grau de impacto variando entre desprezível e baixo grau, independente do valor, se positivo ou negativo.

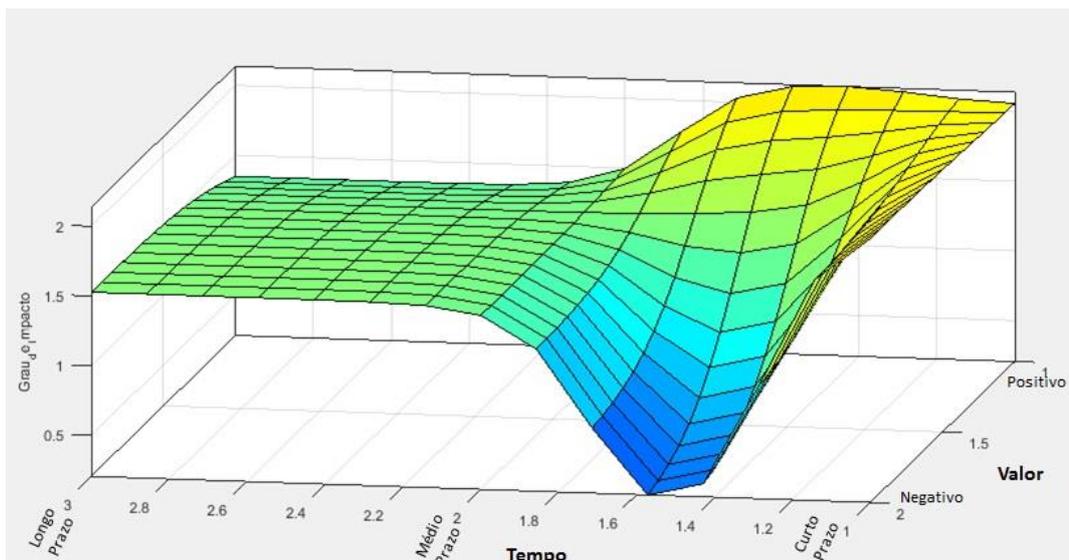


Figura 11 - Gráfico de superfície combinando os critérios de tempo e valor dos impactos ambientais com a distribuição dos mesmos em seu grau de impacto.

A Figura 11 também mostra que os impactos ambientais de valor negativo que se concentram entre curto e médio prazo possuem o menor grau de impacto dentre todos, muitos deles concentrados na faixa que se aproxima dos impactos nulos ou ausentes, com grau de impacto inferior a 0,5, que pode ser classificado como desprezível. Quando se define os critérios para avaliação de impactos como de curto, médio ou longo prazo pode haver uma região de transição, que às vezes é imprecisa, entre duas alternativas de resposta, mas o sistema *neuro-fuzzy* é capaz de interpretar a pertinência do impacto e alocá-lo no grupo, respeitando essa pertinência.

5. Conclusões

Para as condições adotadas na presente pesquisa, chegaram-se às seguintes conclusões:

- O emprego do sistema (lógica) *neuro-fuzzy* na avaliação de impactos ambientais se mostrou viável, exatamente pela consideração dos itens abaixo.

- É possível estimar o grau de impacto ambiental a partir dos dados qualitativos com o uso do sistema *neuro-fuzzy* e emprego do quando se utiliza o método de *grid partition*.

- Foi possível calcular um grau de impacto para cada uma das 87 regras criadas no sistema, considerando a caracterização qualitativa de cada impacto avaliado.

- Com os sistemas *neuro-fuzzy* é possível construir gráficos de superfície que sintetizam informações contidas nas matrizes de interação, tornando-se aptos a serem incluídos em estudos de impactos ambientais, bem como em audiências públicas como forma de exposição dos resultados.

- Esses gráficos permitem a combinação de critérios de avaliação de impactos ambientais e essa combinação pode ser usada de forma estratégica, atendendo as exigências daqueles que participam do estudo de impacto ambiental ou que frequentam as audiências públicas.

- Os gráficos de superfície devem ser expostos no estudo de impacto ambiental e nas audiências públicas logo após as matrizes de interação, sem jamais substituí-las.

6. Referências Bibliográficas

- ARMAGHANI, D. J.; HAJIHASSANI, M.; MONJEZI, M.; MOHAMAD, E. T.; MARTO, A.; MOGHADDAM M. R. Application of two intelligent systems in predicting environmental impacts of quarry blasting **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 11, p. 9647-9665, 2015.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P, L, F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: Teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 226 p.
- BINOTI, M. L. M. S. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.
- CARVALHO, L. F.; NASSAR, S.M.; AZEVEDO, F. M.; CARVALHO, H. J. T.; RECH, C. M. Z.; MONTEIRO, L. L. **Metodologia de aprendizagem para Sistemas Neuro-difusos**. Iniciação Científica: PIBIC/UPF, 2006.
- CHAVES, L. E. **Modelos computacionais Fuzzy e Neuro-Fuzzy para avaliarem os efeitos da poluição do ar**. 2013. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- FULLÉR, R. **Neural Fuzzy Systems**. Abo, Abo Akademi University, 1995. 346p.
- HEDDAM, S.; BERMAD, A.; DECHEMI, N. ANFIS-based modelling for coagulant dosage in drinking water treatment plant: a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 1953-1971, 2012.
- IBRAHIM, A. **Fuzzy logic for embedded systems applications**. Newnes. 1. ed. 2003. 312 p.
- JANG, J. S. R.; SUN, C. T. Neuro-fuzzy modeling and control. **Proceedings of the IEEE**, v. 83, n. 3, p. 378-406, 1995.
- JANG, J. S. R.; SUN, C. T.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence**. New Jersey, Prentice Hall, 1997. 614 p.
- KAUR, R.; DHINDSA, K. S. Simulation of Adaptive Neuro Fuzzy Logic Controlled Wireless Intelligent Telemetry System. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 3, n.11, p. 2278-3075, 2014
- KHOSHNEVISAN, B.; RAFIEE, S.; MOUSAZADEH, H. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production **European Journal of Agronomy**, v 50. p. 29-37, 2013.
- MATLAB, **Fuzzy Logic Toolbox** R2015a, User's Guide, 2015.
- MESIAROVÁ-ZEMÁNKOVÁ, A.; AHMAD, K. T-norms in subtractive clustering and backpropagation. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 25, p. 909-924, 2010.

NOORI, R.; HOSHYARIPOUR, G.; ASHRAFI, K.; ARAABI, B. N.; Uncertainty analysis of developed ANN and ANFIS models in prediction of carbon monoxide daily concentration. **Atmospheric Environment**. v. 44, p. 476-482, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, H. A. E.; CALDEIRA, A. M.; MACHADO, M. A. S.; SOUZA, R. C.; TANSCHKEIT, R. **Inteligência Computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 384 p.

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri; Manole, 2003. 525 p.

SAVIC, M.; MIHAJLOVIC, I.; ŽIVKOVIC, Ž.; An ANFIS – Based Air Quality Model For Prediction of SO₂ Concentration in Urban Area. **Serbian Journal of Management**. v. 8, n. 1, p. 25-38, 2013.

SOARES, P. L. B.; SILVA, J. P. Aplicação de redes neurais artificiais em conjunto com o método vetorial da propagação de feixes na análise de um acoplador direcional baseado em fibra ótica. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. v. 3, n. 2, p.58-72, 2011.

SILVA, D. A. L.; CARDOSO, E. A. C.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; MALINOVSKI, R. A. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 185-193, 2014.

USBERTI, F. L. SIMANFIS: Simplificação da arquitetura neuro-fuzzy anfis, In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 34, 2007. **Anais...**, Fortaleza, 2007. 924-935 p.

VALDETARO, E. B. **Avaliação quali-quantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal, na Zona da Mata Mineira**. 2011. 203 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

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

APÊNDICES

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																											
	Meio Físico												Meio Biótico								Meio Antrópico							
	Ar		Água						Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática								
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros Invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada a atividade	Desenvolvimento regional	Paisagem	
Palestra/Dia de campo	NDR CTV	NDR CTV						PIE CTV	PIE CTV	PIE CTV		NDE CTV	NIE CTV	NIE CTV	PIE MTV	PIE MTV					PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV	PDE CAS	PIE CTV	PIE MTV		
Visita do produtor ao IEF/MG	NDR CTV	NDE CTV																			PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV		PIE CTV	PIE MTV		
Visita dos estagiários e georreferenciamento das áreas de plantio	NDR CTV	NDE CTV	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	PIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	PIE MAS	PIE MAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	NIE CAS	PDE CAS	PIE CTV	PIE CTV	NDE CTV	PIE CTV	PIE CTV		
Aquisição de fatores de produção	NDR CTV	NDE CTV																			PDL CTV				PDE CYV			
Contratação de mão de obra																					PDR CAS	PDE CTV	PDE CTV	NIE CTV	PIE MTV			
Cercamento da área de plantio	NDL CTV												NDL CYV		NDL CYV	PIL CYV									NDL CTV			
Limpeza da área (manual)	NDL CTV		NDR CTV	NIR MTV				NIR MTV	NIL MAS	NIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Limpeza da área (mecânica)	NDL CTV	NDL CTV	NDR CTV	NIR MAS				NIR MTV	NIL MAS	NIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Limpeza da área (química)					NDR CTV	NIR CTV			PIL CTV		PIL MTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIE CTV	NIR CTV					NDL CAS	PDL CTV		
Combate químico às formigas - Isca					NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV	NIL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Combate químico às formigas - Termonebulização	NDL CTV	NDL CTV			NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV		NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Combate químico às formigas - Pó químico	NDL CTV				NIR CTV	NIR CTV						NDL CTV	PDL CTV	PDL CTV		NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV			
Preparação do solo - Aração/Gradagem	NDL CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR MAS				NIR MAS	PDL CTV	NIL CTV	PDL CTV	PDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	PDL CTV	NIR MAS	NIR MAS	NIR MAS	NIR MAS					NDL CTV	NDL CTV	
Coveamento	NDL CTV	NDL CTV	NIL CTV	NIR MTV					PDL CTV							NDL CTV										NDL CAS	PDL CTV	
Subsolagem/sulcagem	NDL CTV	NDL CTV	NIL CTV	NIR MTV					PDL CTV	NIL MTV				NDL CTV	NDL CTV	NDL CTV	PDL CTV									NDL CAS	PDL CTV	
Transporte das mudas e outros insumos	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV				NDL CTV	NDR CAS	NIR MTR								NDR CTV	NIL CTV	NIL CTV	NIL CTV	NIL CTV			PDR CTV				
Combate a cupim					NDR CTV	NDR CTV						NDL MTV					NIR CTV	NDL CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV		
Plantio		PDE CTV	PIL MTV	PIR MTV				PIE MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIR MTV	PDL CTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	NDL CTV	PDL CTV
Adubação de plantio					NIR CTV	NIR CTV						PDL CTV		PDL CTV	PDL CTV			NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV	NIR CTV					NDL CTV	PIL MTV	
Replantio		PDE CTV	PIL MTV	PIR MTV				PIE MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIL MTV	PIR MTV	PDL CTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PIR MTV	PDL CTV	
Descarte de embalagens de insumos					NDR CTV	NDR CTV						NDL CTV					NIR CTV	NIL CTV	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV	NDR CTV				NDE CAS	NDL CTV	

Critérios de avaliação:

Valor: Positivo (P)
Negativo (N)

Ordem: Direto (D)
Indireto (I)

Espaço: Local (L)
Regional (R)
Estratégico (E)

Tempo: Curto Prazo (C)
Médio Prazo (M)
Longo Prazo (O)

Dinâmica: Temporário (T)
Cíclico (Y)
Permanente (A)

Plástica: Reversível (V)
Irreversível (S)

APÊNDICE I - Matriz de interação para a identificação e caracterização qualitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de implantação.

Fonte: Valdetaro (2011).

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo	
	Meio Físico										Meio Biótico										Meio Antrópico										
	Ar		Água				Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática													
	Partículas sólidas	Gases	Turbulência	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Verteb. rados	Insetos e outros Invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Pasegismo
Palestra/Dia de campo	-1	-1	0	0	0	0	0	0	4	5	4	0	-4	-1	-4	2	1	0	0	0	0	5	4	3	3	5	2	16	38	-11	27
Visita do produtor ao IEF/MG	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	2	1	7	7	-4	3
Visita dos estagiários e georreferenciamento das áreas de plantio	-2	-2	3	3	3	2	4	4	3	5	4	1	-3	-1	-3	2	1	-2	-2	-2	-2	4	3	2	-4	4	3	27	51	-23	28
Aquisição de fatores de produção	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	4	6	-4	2
Contratação de mão de obra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	-3	1	0	5	11	-3	8
Cercamento da área de plantio	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	5	2	-7	-5
Limpeza da área (manual)	-1	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-3	0	2	18	2	-23	-21
Limpeza da área (mecânica)	-1	-1	-2	-2	0	0	0	-2	0	-2	-2	-3	-3	-1	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-2	0	2	19	2	-36	-34
Limpeza da área (química)	0	0	0	0	-3	-2	0	0	2	0	2	-4	-5	-3	-5	-2	-4	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-5	0	2	16	6	-45	-39
Combate químico às formigas - Isca	0	0	0	0	-3	-2	0	0	0	0	0	-2	4	0	4	-1	-4	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-1	0	0	12	8	-21	-13
Combate químico às formigas - Termonebulização	-1	-1	0	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-3	2	0	2	0	-3	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-4	0	0	13	4	-19	-15
Combate químico às formigas - Pó químico	-1	0	0	0	-2	-2	0	0	0	0	0	-2	1	0	1	0	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	12	2	-15	-13
Preparação do solo - Aração/Gradagem	-3	-3	-4	-4	0	0	0	-4	4	-5	2	2	-4	-4	-4	-2	3	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-2	0	-3	20	11	-54	-43
Coveamento	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	3	8	5	-9	-4
Subsolagem/sulcagem	-3	-3	-2	-2	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	-1	-1	-1	2	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	3	12	9	-19	-10
Transporte das mudas e outros insumos	-2	-2	-1	0	0	0	-1	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	12	1	-14	-13
Combate a cupim	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-1	-3	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-3	0	0	10	0	-19	-19
Plantio	0	2	2	3	0	0	0	3	4	4	3	4	0	2	-4	3	3	2	2	3	2	0	0	0	-2	0	4	18	46	-6	40
Adubação de plantio	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	5	0	1	3	2	0	0	-2	-2	-1	-2	0	0	0	-1	0	2	12	13	-10	3
Replantio	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	2	2	0	1	-2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	17	21	-2	19
Descarte de embalagens de insumos	0	0	0	0	-3	-2	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-3	-2	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-3	0	-3	11	0	-30	-30
Quantidade de impactos	13	12	9	8	8	8	2	6	9	9	9	12	10	11	13	15	15	14	14	14	14	5	4	5	17	5	13	274			
Total (+)	0	3	6	7	3	2	4	8	25	16	22	9	8	6	9	8	13	3	3	4	3	15	12	12	3	15	26		245		
Total (-)	-21	-18	-11	-10	-15	-11	-1	-7	-2	-13	-3	-20	-21	-14	-28	-18	-21	-23	-23	-22	-23	0	0	0	-43	0	-6			-374	
Saldo	-21	-15	-5	-3	-12	-9	3	1	23	3	19	-11	-13	-8	-19	-10	-8	-20	-20	-18	-20	15	12	12	-40	15	20				-129

Crítérios de avaliação:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE II - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de implantação.

Fonte: Valdetaro (2011).

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo	
	Meio Físico											Meio Biótico								Meio Antrópico											
	Ar		Água					Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática												
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Intervenção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Paisagismo
Combate químico às formigas - Isca	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	2	0	2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	12	4	-12	-8
Coroamento	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	2	7	4	-6	-2
Roçada manual de entrelinha (2º e 8º mês)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	-2	-2	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	2	9	7	-9	-2
Roçada mecânica de entrelinha (2º e 8º mês)	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	-2	-2	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	2	11	6	-11	-5
Adubação de cobertura (2º e 8º mês)	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	5	0	1	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-2	0	2	12	10	-8	2
Visita de avaliação do plantio	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	-3	-1	-3	-3	-3	0	0	0	0	3	2	0	-4	2	3	13	14	-21	-7
Primeira desrama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	8	11	-2	9
Segunda desrama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	8	11	-2	9
Desbaste seletivo	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	-2	2	0	0	0	0	0	2	2	-3	0	0	10	18	-7	11
Traçamento, toragem e desgalhamento das árvores desbastadas	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	10	11	-7	4
Extração das toras por rolamento ou tombamento manual	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	7	1	-7	-6
Manutenção de estradas de acesso	-1	-1	-1	-1	0	0	-2	-1	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	0	0	1	-2	0	0	14	3	-16	-13
Quantidade de impactos	6	5	2	1	2	2	1	1	2	2	8	7	10	9	10	6	7	3	3	3	3	1	2	7	12	1	5	121			
Total (+)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	19	5	13	11	13	2	4	0	0	0	0	3	4	11	0	2	11		100		
Total (-)	-7	-7	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-3	-1	-2	-8	-6	-8	-8	-7	-3	-3	-4	-3	0	0	0	-27	0	0			-108	
Saldo	-7	-7	-2	-1	-2	-2	-2	-1	1	-3	18	3	5	5	5	-6	-3	-3	-3	-4	-3	3	4	11	-27	2	11				-8

Legenda:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE IV - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de manutenção.

Fonte: Valdetaro (2011).

Atividades impactantes	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES																										Quantidade de impactos	Total (+)	Total (-)	Saldo	
	Meio Físico												Meio Biótico								Meio Antrópico										
	Ar		Água						Solo				Flora terrestre			Fauna terrestre		Flora aquática		Fauna aquática											
	Partículas sólidas	Gases	Turbidez	Assoreamento	Qualidade química da água superficial	Qualidade química da água subterrânea	Interrupção de curso hídrico	Vazão	Compactação	Erosão	Fertilidade	Microbiota	Cultura existente	Banco de propágulos no solo	Regeneração natural sob o plantio	Vertebrados	Insetos e outros invertebrados	Macrófitas	Fitoplâncton	Peixes	Zooplâncton	Nível de conhecimento técnico	Fixação do homem no campo	Empregos	Saúde e segurança da pessoa vinculada à atividade	Desenvolvimento regional					Paisagismo
Comercialização da madeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	4	0	3	10	0	10
Melhoria de estradas de acesso	-2	-2	-2	-2	0	0	-2	-1	2	-2	0	0	0	0	0	0	-3	-3	-3	-3	0	0	1	-2	0	2	15	5	-27	-22	
Manutenção de motosserra	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-3	0	0	10	0	-13	-13	
Corte / Derrubada	-2	-2	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	4	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	-5	12	11	-21	-10
Desgalhamento, destopamento e traçamento	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	5	2	-12	-10	
Extração das toras por rolamento ou tombamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-2	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	6	2	-10	-8	
Empilhamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	3	1	-4	-3	
Carregamento manual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	2	1	-3	-2	
Carregamento semimecanizado	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	5	1	-8	-7	
Transporte rodoviário da madeira	-3	-4	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	3	0	7	4	-15	-11	
Aproveitamento de madeira e resíduos	-3	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	4	2	4	0	3	0	0	0	0	0	3	0	-2	0	0	10	23	-8	15
Quantidade de impactos	7	7	2	2	1	1	1	1	5	2	1	1	3	2	3	5	1	2	2	2	2	0	2	9	10	2	2	78			
Total (+)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	3	8	2	8	0	3	0	0	0	0	0	7	14	0	7	2	60			
Total (-)	-15	-16	-3	-3	-1	-1	-2	-1	-7	-3	0	0	-2	-1	-2	-13	0	-4	-4	-4	-4	0	0	0	-30	0	-5			-121	
Saldo	-15	-16	-3	-3	-1	-1	-2	-1	-5	-3	4	3	6	1	6	-13	3	-4	-4	-4	-4	0	7	14	-30	7	-3				-61

Legenda:

Sinal		Quantificação					
+	-	0	1	2	3	4	5
Positivo	Negativo	Nenhum impacto	Desprezível	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Muito Alto

APÊNDICE VI - Matriz de interação para a identificação e caracterização quantitativa de impactos ambientais dos plantios de fomento florestal – Etapa de colheita e transporte.

Fonte: Valdetaro (2011).

Para maiores informações, acesse as seguintes obras:

VALDETARO, E. B. Avaliação qualiquantitativa de impactos ambientais de um programa de fomento florestal, na Zona da Mata Mineira. 2011. 203 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

VALDETARO, E. B.. Métodos estatísticos e sistema neuro-fuzzy aplicados na avaliação de impactos ambientais. 2015. 62 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.