

A CLUSTERIZAÇÃO DOS SETORES INDUSTRIAIS POR REDES NEURAIIS NO CONTEXTO DE ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Flávia de Castro Camioto

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos
Av. Trabalhador são-carlense, 400. CEP 13566-590, São Carlos - SP/Brasil
flaviacamioto@yahoo.com.br

Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos
Av. Trabalhador são-carlense, 400. CEP 13566-590, São Carlos - SP/Brasil
daisy@sc.usp.br

RESUMO

A energia é um insumo fundamental para o desenvolvimento e crescimento econômico de um país. No entanto, num período de mudanças climáticas e restrições a emissões cada vez maiores, o setor industrial, que é o setor que mais consome energia, no Brasil, ainda apresenta muitas de suas atividades dependentes de combustíveis fósseis. O presente artigo tem como objetivo identificar perfis, ou *clusters*, nos setores industriais brasileiros, durante os anos de 1996 a 2008, considerando o consumo de energia e a contribuição destes setores para o desenvolvimento sustentável do país. Para isso, foi utilizada a rede neural artificial denominada função de base radial. Com os resultados desta pesquisa espera-se contribuir para a análise dos setores industriais com relação aos aspectos ambientais, econômicos e sociais, considerando o atual contexto de mudanças climáticas globais.

PALAVARAS CHAVE. Redes Neurais, Setor industrial, Desenvolvimento sustentável.

Área principal: IND PO na indústria

ABSTRACT

Energy is an essential input for economic growth and development of a country. However, in a period of climate change and of an increasingly restriction of emissions, the industrial sector, which is the sector that consumes more energy in Brazil, still has many of its activities dependent on fossil fuels. The scope of the present article is to identify profiles, or clusters, in the Brazilian industry during the years 1996 to 2008, considering energy consumption and the contribution of these sectors to the country's sustainable development. For this, artificial neural network called radial basis function was used. With the results of this research is expected to contribute to the analysis of industrial sectors with respect to environmental, economic and social, considering the current context of global climate change.

KEYWORDS. Neural Networks. Industrial Sectors. Sustainable Development.

Main area: IND

1. Introdução

A energia é um dos componentes essenciais para o desenvolvimento econômico de uma nação, sendo o seu suprimento um pré-requisito fundamental às atividades humanas, ao desenvolvimento e ao crescimento econômico. A falta de fornecimento deste insumo pode desencadear várias crises de uma nação, principalmente no âmbito econômico (micro e macro), colocando-o em uma posição frágil perante a concorrência exterior e aumentando o seu nível de dependência energética (SILVA; GUERRA, 2009).

No entanto, de acordo com Luncon e Goldemberg (2007), os padrões atuais de produção e consumo de energia no mundo são baseados nas fontes fósseis. A queima desses combustíveis são responsáveis por cerca de 85% das emissões antropogênicas de CO₂ produzidas anualmente, sendo este gás o principal responsável pelo aumento do efeito estufa (IPCC, 2007).

Vale destacar que em um país em desenvolvimento, como o Brasil, o consumo de energia per capita ainda é pequeno. De acordo com o EAI (Energy Information Administration), em 2008, o Brasil consumiu 54,138 milhões de Btu per capita, enquanto que os países da OECD, consumiram 200,017 milhões de Btu per capita e o mundo consumiu 73,512 milhões de Btu per capita (EIA, 2011).

Além disso, o Brasil é um país notório pela participação elevada de energias renováveis na sua matriz energética, 47,3% da oferta interna de energia no ano de 2009 (BEN, 2010), o que contribui para as baixas emissões de poluentes do país, em relação ao resto do mundo. De acordo com os resultados preliminares do BEN (2010), as emissões do Brasil em 2007 foram de 1,48 ton.CO₂/tep, contrastando significativamente com a média mundial que é de 2,39 ton.CO₂/tep e com a média dos países da OECD, que é de 2,37 ton.CO₂/tep.

Porém, ao longo dos anos, no Brasil, vem ocorrendo o aumento global de consumo de energia, sendo o setor industrial o maior consumidor energético do país (BEN, 2010), com muitas das suas atividades dependentes de combustíveis fósseis. Como consequência, este setor acaba agredindo o meio ambiente por emitir altíssimas concentrações de gases do efeito estufa (GEE), aumentando o aquecimento global, além de contribuir para a extensa extração de combustíveis na forma de petróleo e carvão.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo identificar perfis, ou *clusters*, nos setores industriais brasileiros, durante os anos de 1996 a 2008, de acordo com o consumo de energia e a contribuição destes setores para o desenvolvimento sustentável do país, ou seja, contemplando aspectos econômicos, sociais e ambientais. Para isso, foi utilizada a rede neural artificial denominada função de base radial, convencionalmente conhecida como RBF (*Radial Basis Function*).

Com os resultados desta pesquisa espera-se contribuir para a análise dos setores industriais com relação aos aspectos ambientais, econômicos e sociais, ante ao desafio das mudanças climáticas globais.

2. Energia, Desenvolvimento Sustentável no contexto das mudanças climáticas

A mudança climática, atualmente, está sendo estudada pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), que busca fornecer ao mundo uma visão científica sobre o estado atual da mudança do clima e das potenciais consequências ambientais e socioeconômicas. O IPCC, estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, também é responsável por elaborar metodologias de quantificação de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE).

Os resultados apresentados no último relatório do IPCC (2007) confirmam que as causas do aquecimento global são atribuídas, em grande parte, às atividades humanas, principalmente, àquelas relacionadas a emissão de CO₂. De acordo com esse relatório, este gás representou cerca de 77% do total de emissões antrópicas de GEE em 2004, sendo que, entre 1970 e 2004, houve um aumento nas emissões de CO₂ em cerca de 80%. Vale destacar ainda que as queimas de combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de 85% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono produzidas por ano.

Logo, o consumo de energias fósseis é a principal causa da intensificação do efeito estufa. No entanto, vale ressaltar que o uso deste combustível tem movido a economia mundial desde a Revolução Industrial.

Nesse sentido, as implicações ambientais e sociais da produção e do uso dos recursos energéticos têm-se apresentado como um grande desafio aos países desenvolvidos e em desenvolvimento, uma vez que, a produção, transformação, distribuição e consumo de energia devem ser orientados de modo a garantir o desenvolvimento dos mesmos sem ampliar os efeitos negativos à sociedade e ao meio ambiente.

Diante desse contexto, em 1992, foi realizada a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A Convenção reconhece que a maior parcela das emissões de GEE é originária dos países desenvolvidos e que as emissões per capita dos países em desenvolvimento ainda são relativamente baixas. No entanto, ela reconhece, ainda, que a parcela de emissões originárias desses países crescerá para que eles possam satisfazer suas necessidades sociais e de desenvolvimento (ONU, 2010).

Os países desenvolvidos que compõem a OCDE são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia. Porém, a participação dos países da OCDE no consumo total mundial de energia tem recuado ao longo do tempo. Já nos países em desenvolvimento, a participação relativa, ainda que em alguns casos seja pouco expressiva, como na América Latina, registrou aumento acumulado superior a 100% nas últimas três décadas (ANEEL, 2008).

Essa disparidade é explicada pela estrutura econômica e social de cada um dos dois grupos. Os países em desenvolvimento estão mais sujeitos a bruscas reversões de tendências na economia – seja pela política econômica interna restritiva, seja pela grande dependência do capital internacional, dado o pequeno volume de poupança interna. Além disso, esses países costumam apresentar variações do consumo de energia bem mais acentuadas que o crescimento do PIB em função de fatores como a existência de grande número de indústrias energointensivas, demanda reprimida por eletrodomésticos, eletroeletrônicos e automóveis, e existência de uma forte economia informal (com atividades sem registro e, portanto, sem a correspondente arrecadação de impostos e tributos) (ANEEL, 2008).

Nesse sentido, o Balanço Energético Nacional de 2010, do Ministério de Minas e Energia (MME), mostra, no Brasil, uma série histórica constante no período de 1970 a 2008, sendo que a tendência geral tem sido de expansão do consumo global de energia. De 1990 a 2008, o crescimento acumulado foi de 77%, com o consumo total passando de 127,596 milhões de tep para 226,393 milhões de tep.

Nem mesmo em 2001, ano marcado pelo racionamento de energia elétrica, o consumo global de energia registrou recuo: passou de 171,949 milhões de tep para 172,186 milhões de tep (aumento de 0,14%), acompanhando a taxa de crescimento do PIB nacional, de 1,3%. Mas, este comportamento foi beneficiado pela utilização de outros tipos de energia, visto que o consumo de energia elétrica registrou uma queda de 6,6% em 2001.

A única exceção é o ano de 2009. Evidenciando a crise financeira internacional, a indústria foi a principal responsável pela retração na demanda de energia no Brasil neste ano, com queda de 6,85% em relação a 2008 (BEN, 2010). Ainda assim, o setor industrial continuou a ser o maior consumidor energético, imediatamente seguido por transportes e setor energético.

Uma vez que este aumento do consumo energético é indispensável para promover o desenvolvimento e o crescimento econômico de um país, cabe ressaltar a diferença existente entre estes dois conceitos.

Atualmente, a expressão crescimento econômico tem ocupado lugar de destaque nos grandes debates e decisões políticas, expressada, principalmente, pelo valor atribuído ao Produto Interno Bruto (PIB). Por outro lado, o conceito de desenvolvimento pressupõe a efetiva melhoria da qualidade de vida da população. Nesse sentido, o conceito de desenvolvimento sustentável vem ganhando força desde que a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente da Organização das Nações Unidas (ONU) publicou seu relatório, em 1987, sob a denominação de “Nosso futuro comum”, que teve sua inspiração na 1ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente realizada em 1972, em Estocolmo, na Suécia.

O termo desenvolvimento sustentável é definido pela *World Commission on Environment and Development* (1987) como o desenvolvimento que busca a satisfação das necessidades das gerações atuais sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades.

De acordo com Almeida (2002, p. 23), “no novo mundo tripolar, o paradigma é o da integração de economia, ambiente e sociedade, conduzida e praticada em conjunto por três grupos: empresários, governo e sociedade civil organizada”.

Logo, para ser sustentável, uma empresa ou empreendimento tem que buscar, em todas as suas ações e decisões, em todos os seus processos e produtos, incessantemente e permanentemente, a ecoeficiência, o que significa dizer que a organização deve produzir mais produtos de melhor qualidade, com menos poluição e menos uso dos recursos naturais. Além disso, a empresa deve ser socialmente responsável (ALMEIDA, 2002).

Deste modo, uma empresa sustentável, com base na classificação de Elkington (1994), é aquela que contribui para o desenvolvimento sustentável ao gerar, simultaneamente, benefícios econômicos, sociais e ambientais, conhecidos com o *triple bottom line*, os três pilares do desenvolvimento sustentável - expressão que se tornou popular com a divulgação de seu livro *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*, em 1997. Com essa definição o autor indica que a atuação das empresas deve atender a integração das dimensões sociais e ambientais nas estratégias econômicas (ELKINGTON, 2001).

Por outro lado, o setor industrial, além de ser o maior consumidor de energia do país (BEN, 2010), apresenta muitas das suas atividades dependentes de combustíveis fósseis, o que agride o meio ambiente, por emitir altíssimas concentrações de GEE, contribuindo para o aquecimento global.

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo principal identificar perfis, ou *clusters*, nos setores industriais brasileiros, durante os anos de 1996 a 2008, considerando o consumo energético destes setores e a contribuição dos mesmos para o desenvolvimento social e ambiental e para o crescimento econômico do país.

Para a *clusterização*, foi utilizada a rede neural artificial denominada função de base radial, convencionalmente conhecida como RBF (*Radial Basis Function*).

3. Método

Para esta pesquisa foram selecionados os principais setores industriais para o qual o Balanço Energético Nacional (BEN) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) forneciam dados. Da mesma forma, alguns setores foram agrupados devido à disponibilidade de informações do IBGE. Deste modo, para este trabalho, a delimitação espacial contempla os setores industriais de Não Metálicos, que corresponde aos setores de cimento e cerâmica; Extrativa Mineral, que corresponde ao setor de Mineração e pelotização, excluindo-se a exploração de petróleo, gás natural e mineração de carvão mineral; o setor de Metalurgia, que corresponde aos setores de ferro gusa e aço, ferro-ligas e não-ferrosos; além dos setores de Indústrias Químicas, Alimentos e Bebidas, Têxtil e Papel e Celulose.

A *clusterização* dos setores industriais foi realizada por meio de Redes Neurais Artificiais, explicada no tópico 3.2. As variáveis utilizadas para a identificação de perfis nos setores industriais foram: consumo energético; PIB setorial, como uma variável do crescimento econômico; gastos com pessoal, na forma de salários, retiradas e outras remunerações, e pessoas ocupadas em cada setor, como variáveis do desenvolvimento social; e emissão de CO₂ por combustíveis fósseis, como variável do desenvolvimento ambiental.

Os dados relativos às variáveis “gastos com pessoal” e “pessoas ocupadas” em cada setor foram coletados no *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já as variáveis “PIB setorial” e “consumo energético” foram coletadas no relatório do Balanço Energético Nacional (BEN), disponível no *website* do Ministério de Minas e Energia (MME). A variável “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”, por sua vez, foi calculada utilizando o método *top-down*, reconhecido internacionalmente e recomendado pela ONU (Organizações das Nações Unidas). Este método de quantificação de emissões é detalhado no próximo item.

O intervalo de tempo a ser analisado no presente trabalho compreende um período de treze anos (1996 a 2008). O critério utilizado para definir o ano de 1996 como o momento de início da análise e o ano de 2008 para o final do período a ser abrangido na investigação foi a disponibilidade de dados, com uma mesma base de cálculo.

3.1. O método *top-down* de quantificação das emissões de CO₂

Existem dois métodos desenvolvidos pelo IPCC que permitem o cálculo de emissões de CO₂: o *bottom-up* e o *top-down*. Pela maior confiabilidade dos dados e menor complexidade para o levantamento destes, o método *top-down* foi o mais difundido (SIMÕES, 2003).

De acordo com o Ministério de Ciências e Tecnologia - MCT (2006), para a aplicação do método *top-down* do IPCC é necessário realizar a seguinte sequência de passos:

1. Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais: neste trabalho, foi utilizado o consumo direto dos setores em estudo, com o objetivo de representar as emissões específicas dos segmentos estudados. Deste modo, foram utilizados o consumo dos combustíveis usados na produção industrial e o consumo total de cada setor industrial. Estes dados foram encontrados no Balanço Energético Nacional (BEN) e obtido em unidades físicas tais como m³, litros, toneladas, etc.
2. Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ): as quantidades dos combustíveis são expressas pelo BEN em toneladas equivalentes de petróleo (tep), para converter os valores do BEN para terajoules, conforme recomendação do IPCC (1996), foi utilizada a seguinte equação:
$$\text{Fator de Conversão} = 45,217 \times 10^{-3}. \text{ Fator de correção} \quad (1)$$

Onde o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (MCT, 2006).
3. Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível: nesta pesquisa, os valores utilizados para o fator de emissão foram aqueles recomendados pelo IPCC. Além disso, quando, ao invés de indicar o consumo de cada um dos energéticos pelo setor, o BEN (2010) indicava a somatória do consumo de energia de duas fontes, foi considerado, como fator de emissão, a média dos fatores dos dois combustíveis. Vale ressaltar, ainda, que, neste trabalho, para o carvão mineral (CM), foi considerado o fator de emissão do carvão antracito.
4. Determinação da quantidade de carbono de cada combustível destinada a fins não energéticos e a dedução dessa quantidade do carbono contido no consumo aparente, para se computar o conteúdo real de carbono possível de ser emitido: no presente trabalho, foi utilizado como referência o consumo de fontes de energia dos setores industriais divulgados no BEN (2010), no qual todo combustível é considerado de uso energético. Logo, o único valor relevante para o cálculo das emissões foi do carbono não oxidado, explicado no item seguinte.
5. Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão: a fração de carbono oxidada foi a recomendada pelo IPCC (1996): 0,98 para carvões, 0,99 para o petróleo e seus derivados, 0,995 para o gás natural. Para as demais fontes energéticas a fração de carbono oxidada foi a mesma utilizada pelo MCT no documento Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem *Top-Down*.
6. Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂: foi obtida multiplicando-se as emissões em termos de carbono por 44/12. Onde 44 é o peso molecular do CO₂ e 12 é o peso atômico do carbono (C).

3.2. Redes Neurais Artificiais

Segundo Silva et al. (2010), as Redes Neurais Artificiais (RNAs) abrangem um

conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, interligados por meio de interconexões denominadas sinapses, que são representadas por um conjunto de pesos numéricos. Uma RNA é composta usualmente por: (a) uma camada de entrada, que não possui neurônios; (b) algumas camadas intermediárias, que são denominadas camadas escondidas; e (c) uma camada de saída, em que número de neurônios deve coincidir com a quantidade de informações que a rede irá fornecer como resposta final. A Figura 1 apresenta o esquema básico de uma RNA.

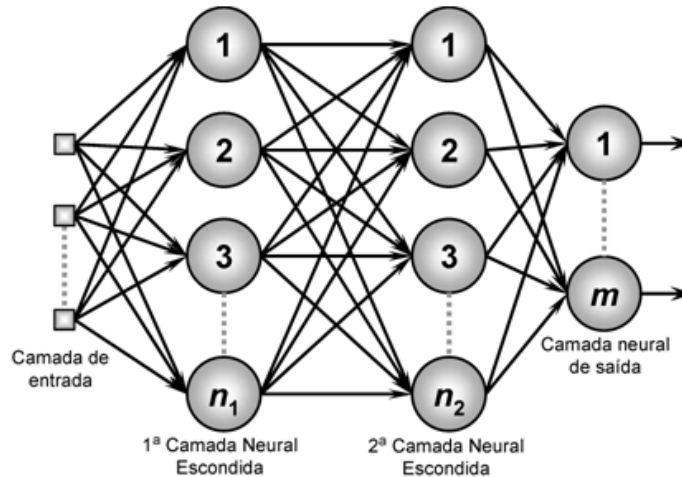


Figura 1 - Esquema básico de uma RNA

Fonte: Silva et al. (2010, p. 92)

Um neurônio artificial é composto de sete elementos básicos: sinais de entrada “ x_i ”, que pode tanto provir de outros neurônios quanto ser fornecido pelo usuário; pesos sinápticos “ w_i ”; combinador linear “ Σ ”; limiar de ativação “ θ ”; potencial de ativação “ u ”; função de ativação “ g ” e, por fim, sinal de saída “ y ”. Este último pode ser a resposta da rede, caso o neurônio esteja na camada de saída, ou um valor intermediário, que vai ser a entrada dos neurônios das camadas posteriores. A Figura 2 apresenta o esquema básico de um neurônio artificial.

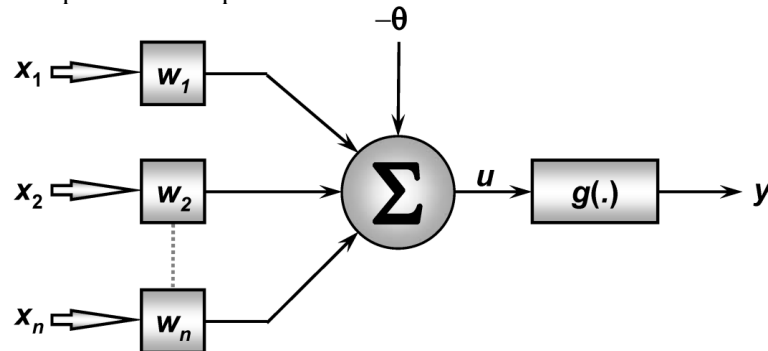


Figura 2 - Esquema básico de um neurônio artificial

Fonte: Silva et al. (2010, p. 34)

O potencial de ativação “ u ” pode ser definido, conforme mostra a Expressão 2, como o resultado da somatória das entradas do neurônio ponderadas pelos seus respectivos pesos, menos o limiar de ativação.

$$u = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i - \theta \quad (2)$$

Em que:

x_i : Valor da entrada i

n : Quantidade de entradas

w_i : Peso relacionado a entrada x_i ;

θ : Limiar de ativação do neurônio;

u: Potencial de ativação

A saída do neurônio será o resultado do potencial de ativação aplicado a uma função de ativação, conforme a Expressão 3. Vale ressaltar que as funções de ativação mais comuns são: (a) degrau, (b) sinal e (c) rampa simétrica, que são não-diferenciáveis; e (1) logística, (2) tangente hiperbólica, (3) gaussiana e (4) linear, que são diferenciáveis.

$$y = g(u) \quad (3)$$

Em que:

y: Saída do neurônio

g: Função de ativação

Silva et al (2010) identificam as principais aplicações das RNAs, que podem ser utilizadas: (a) como aproximador universal de funções; (b) para controle de processos; (c) para reconhecimento e classificação de padrões; (d) para agrupamento de dados (*clusterização*); (e) para previsão; (f) para otimização e (g) como memórias associativas.

Para todas essas aplicações, as RNAs precisam assumir diferentes arquiteturas, que segundo Silva et al. (2010), definem a forma como os neurônios de uma rede estão arranjados uns em relação aos outros. Uma mesma arquitetura pode ser utilizada com diferentes topologias, que representam as diversas composições que uma arquitetura pode assumir, sendo que se diferenciam principalmente quanto ao número de neurônios presentes nas camadas escondidas. Silva et al. (2010) identifica os seguintes tipos de arquitetura para RNAs: (a) *Perceptron*, (b) *Adaline*, (c) *Perceptron* multicamadas, (d) RBF (*Radial Basis Function* - Funções de Base Radial), (e) Recorrentes, (f) Auto-organizáveis, (e) LVQ (*Learning Vector Quantization* - quantização vetorial por aprendizagem); (f) *Counter-propagation*; e (g) ATR (*Adaptive Resonance Theory* - teoria da ressonância adaptativa).

Neste artigo, as RNAs foram utilizadas para agrupamento de dados (*clusterização*) e a arquitetura utilizada foi a RBF (*Radial Basis Function* - Funções de Base Radial), na qual as fronteiras que delimitam as classes são definidas por campos hiperesféricos. Logo, para a aplicação desta rede, é preciso encontrar os centros dos neurônios considerados na análise, uma vez que a classificação de padrões leva em conta a distância radial em que os mesmos se encontram em relação ao centro das hiperesferas. Um método muito bem utilizado para esta finalidade é denominado de *K-means* (SILVA et al, 2010).

Silva et al. (2010, p. 178), apresenta um algoritmo iterativo bastante simples para se aplicar este método, mas exige a especificação prévia do número de *clusters* que serão utilizados na classificação. O número de *clusters*, por sua vez, corresponde à quantidade de neurônios considerados na análise. O procedimento para utilização do *K-means* pode ser descrito pelos seguintes passos:

1. Obter a amostra das unidades a serem classificadas, que devem ser caracterizadas por “n” atributos;
2. Especificar o número “c” de *clusters* desejados;
3. Iniciar o vetor “k”, que representa os centros dos *clusters*, com as coordenadas das “c” primeiras amostras a serem analisadas;
4. Calcular as distâncias euclidianas entre cada amostra e os centros dos *clusters*;
5. Agrupar as unidades nos *clusters* cuja distância até o centro tenha sido a menor;
6. Atualizar os valores dos “k”, que passarão a ser a média de todas as amostras que foram agrupadas nos *clusters* que eles representam; e
7. Repetir os passos 4 a 6 até que não haja mudança no valor do centro do *cluster* entre uma iteração e outra.

Salienta-se que, neste artigo, o projeto das redes neurais artificiais consistiu de uma etapa inicial de normalização, que tem como finalidade igualar as magnitudes das variáveis numéricas. Este procedimento impede que variáveis com valores de maior ordem de magnitude dominem ou distorçam os pesos da rede. Desta forma, os valores de todas as variáveis foram normalizados entre 0 e 1 utilizando a seguinte função de normalização:

$$\chi_i^n = \frac{\chi_i}{\chi_i^{\max}}$$

4

Onde, χ são as variáveis a serem consideradas na rede neural.

Para a implementação da rede neural artificial RBF foi utilizado o *software Visual Basic da Microsoft*.

4. Discussão dos Resultados

Inicialmente, foram propostos três *clusters* para classificar os setores industriais brasileiros. Neste cenário, considerando as cinco variáveis descritas anteriormente, o *software* agrupou em um dos *clusters* todos os anos do setor de Metalurgia (1996-2008) e em um segundo *cluster* foi agrupado todos os anos do setor de Alimentos e Bebidas (1996-2008). No terceiro *cluster* constavam todos os demais setores.

A fim de refinar a análise, foi adicionado um quarto *cluster* e executado o *software* novamente. Neste cenário, todos os anos do setor metalúrgico continuaram agrupados em um único *cluster*. Em um segundo *cluster* foram agrupados os anos de 2001 a 2008 do setor de Alimentos e Bebidas. Os anos anteriores deste setor foram agrupados em um terceiro *cluster*, juntamente, com todos os anos da Indústria Química e o último ano, de 2008, do setor de Não metálicos. Os demais setores foram agrupados em um quarto *cluster*.

Analisando os últimos anos destes setores, é possível observar que o setor de Metalurgia vem apresentando as maiores emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia, quando comparado com os demais setores industriais, sendo o setor de ferro gusa e aço o principal responsável pelas emissões desta categoria. Além disso, em 2009, de acordo com os dados do BEN (2010), este setor apresentou-se como o segundo maior consumidor de energia e com o segundo maior PIB, entre os setores industriais, atrás somente, em ambas as variáveis, do setor de Alimentos e Bebidas. No ano anterior (2008), o cenário foi o mesmo, com exceção do consumo de energia, que foi maior do que o do setor de Alimentos e Bebidas, ficando em primeiro lugar. Ainda no ano de 2008, o setor de metalurgia foi o terceiro setor industrial com maiores gastos com pessoal, na forma de salários, retiradas e outras remunerações; e o quinto com o maior número de pessoas ocupadas.

Com relação ao setor de Alimentos e Bebidas, é possível observar, por meio dos dados, que, apesar de ser um dos maiores consumidores de energia, este setor apresenta um nível relativamente baixo de emissões de CO₂ decorrentes de energéticos fósseis, sendo o quinto maior emissor, em 2009, entre os sete setores estudados. A baixa emissão de poluentes se deve, sobretudo, a matriz relativamente limpa deste setor, consumindo grandes quantidades de combustíveis renováveis.

Como comentado, o PIB deste setor sempre se manteve, ao longo dos anos estudados, como o maior entre os setores analisados. Da mesma forma, foi o que mais empregou e gastou com pessoas, na forma de salários, retiradas e outras remunerações, entre os anos de 1996 a 2008.

A Indústria Química, por sua vez, foi a terceira maior emissora de CO₂, proveniente de fontes fósseis de energia, no ano de 2009, sendo o segundo maior emissor o setor não metálico, formado pelos setores de cimento e cerâmica. Ao considerar esses dois últimos separadamente, as indústrias químicas ocupam o segundo lugar nas emissões e o setor de cimento o terceiro lugar.

O mesmo raciocínio se aplica ao analisar o consumo de energia. O setor químico ocupou a quarta posição no consumo de energéticos, mas ao considerar separadamente os setores que compõem a metalurgia e os não metálicos, a sua posição sobe para quarto. Com relação ao PIB, ele apresentou o terceiro maior número no ano de 2009. Este cenário foi o mesmo no ano de 2008. Neste ano, este setor foi o segundo que mais gastou com pessoas e o quarto que mais empregou.

O setor de não metálicos, composto pelo setor de cimento e cerâmica, nos anos de 2008 e 2009, foi o segundo maior emissor de CO₂ provenientes de fontes não-renováveis, sendo que o setor de cimento apresenta maiores emissões do que o setor de cerâmica. Da mesma forma, apresentou-se como o quarto maior consumidor de energia, nestes anos, e ocupou a quarta

colocação com relação ao PIB. No ano de 2008, foi o quarto setor industrial que mais gastou com pessoas e o segundo que mais empregou.

5. Considerações Finais

A *clusterização* por Redes Neurais pretendeu identificar grupos, dentre os setores industriais brasileiros, que permitissem a definição de perfis considerando aspectos ambientais econômicos e sociais. Neste estudo, foram utilizadas as variáveis consumo energético, crescimento econômico (PIB), desenvolvimento social (gastos com pessoas, forma de salários, retiradas e outras remunerações; e pessoas ocupadas) e desenvolvimento ambiental (emissões de CO₂ decorrentes de combustíveis fósseis).

Os resultados para uma *clusterização* em quatro grupos apresentam o setor de metalurgia compondo o primeiro grupo, o setor de alimentos e bebidas (nos últimos períodos) compondo o segundo grupo; os primeiros períodos do setor de alimentos e bebidas, o setor químico e o último ano do setor de não ferrosos compondo o terceiro grupo; e os demais setores o quarto grupo. Assim sendo, merece destaque a participação do setor de Alimentos e Bebidas ascendendo do terceiro para o segundo grupo, nos últimos anos estudados; e do setor de não ferrosos, que ascendeu do quarto para o terceiro grupo no último ano. Isso indica a necessidade de um maior aprofundamento no estudo dos indicadores e na trajetória destes setores.

Além disso, o alto consumo de energia e as elevadas emissões de GEE do setor de metalurgia se apresentam como oportunidades para futuros estudos sobre substituição energética, por fontes mais limpas de energia, e eficiência energética neste setor.

Referências

- Almeida, F. *O Bom Negócio da Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 3. Ed. Brasília: ANEEL.
- BEN - Balanço Energético Nacional. 2010 (Ano-Base 2009). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2010.
- EIA - Energy Information Administration. (2011). *U.S. Energy Information Administration*. Apresenta as estatísticas de energia oficiais do governo dos Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.eia.gov/>>. Acesso em: 26 jan. 2011.
- Elkington, J. (1994). Towards the sustainable corporation: win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, Berkeley, v.36, n.3, p. 90-100, Spring.
- Elkington, J. (2001). *Canibais com garfo e faca*. São Paulo: Makron Books, 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). Pesquisa Industrial Anual – Empresa. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 04 mai. 2011.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). *Greenhouse gas inventory reporting instructions – Revised IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, London.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Luncon, J.; Goldemberg, G. (2007). Energia e meio Ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 7-20.
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. (2006). Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem *top-down*. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 05 nov. 2010.
- ONU - Organizações das Nações Unidas. (2010). *Apresenta o texto da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, realizada em Nova Iorque no dia 9 de maio de 1992. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/doc_clima.php>. Acesso em: 01 out. 2010.



Silva, F. I. A.; Guerra, S. M. G. (2009). Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector - 1995 to 2005. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p. 2589-2596.

Silva, I. N.; Spatti, D. H.; Flauzino, R. A. (2010) *Redes Neurais artificiais: para engenharias e ciências aplicadas*. 1 ed. São Paulo: Artliber.

Simões, A. F. (2003). *O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação*. 2003. 228p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.