



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VILSON MACHADO DE CAMPOS FILHO

**ESTUDO DO PERFIL DO BODIESEL B-100
COMERCIALIZADO NA REGIÃO DE LONDRINA:
APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS DO TIPO MAPA AUTO
ORGANIZAVEL**

Londrina
2015

VILSON MACHADO DE CAMPOS FILHO

**ESTUDO DO PERFIL DO BIODIESEL B-100
COMERCIALIZADO NA REGIÃO DE LONDRINA:
APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS DO TIPO MAPA AUTO
ORGANIZAVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Bioenergia da Universidade Estadual de Londrina como cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Dionisio Borsato

Londrina
2015

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C198e Campos Filho, Vilson Machado de.
Estudo do perfil do biodiesel B-100 comercializado na região de Londrina :
aplicação de redes neurais do tipo mapa auto organizavel / Vilson Machado de
Campos Filho. – Londrina, 2015.
55 f. : il.

Orientador: Dionísio Borsato.
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2015.
Inclui bibliografia.

1. Biodiesel – Teses. 2. Biodiesel – Análise – Teses. 3. Biocombustíveis –
Teses. 4. Biodiesel – Mapas auto-organizáveis – Teses. 5. Biodiesel (Amostras) –
Reconhecimento de padrões – Teses. I. Borsato, Dionísio. II. Universidade Estadual
de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia.
III. Universidade Estadual de Maringá. IV. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
V. Universidade Estadual do Centro-Oeste. VI. Universidade Estadual do Oeste do
Paraná. VII. Universidade Federal do Paraná. VIII. Título.

CDU 662.755

VILSON MACHADO DE CAMPOS FILHO

**ESTUDO DO PERFIL DO BIODIESEL B-100 COMERCIALIZADO NA
REGIÃO DE LONDRINA:
APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS DO TIPO MAPA AUTO
ORGANIZAVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Bioenergia da Universidade Estadual de Londrina como cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Dionisio Borsato
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Fabio Yamashita
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Eduardo Di Mauro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 20 de fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

A minha família, irmãos e meus pais, Vilson e Ivonete, por toda a ajuda, incentivo e compreensão, da qual sem estas certamente o caminho teria sido insustentável;

Aos meus tios, avós e primos, pelas manifestações de apoio e carinho, os também, prontamente colocaram-se à disposição para possível ajuda durante o andamento do curso;

A minha grande amiga Izabel, por estar presente em todos os momentos da minha vida como acadêmico do mestrado e por toda a ajuda, incentivo, conselhos e até mesmo, cobranças;

Aos colegas da turma de mestrado, em especial aos amigos que fiz durante o curso. Amigos estes que apesar da distância geográfica que muitas vezes nos separa, sempre pude contar com ajuda imediata, repasses de informações, resolução de problemas, trocas de conhecimentos e muita motivação;

Ao meu orientador, Professor Dr. Dionisio Borsato, pela paciência, compreensão, amizade, conhecimento, ensinamentos de vida, puxões de orelha, mas, sobretudo pela sua confiança. Professor exemplo de dedicação e comprometimento;

A Prof^a. Dr^a. Carmen Luisa Barbosa Guedes, pela confiança e compreensão nos momentos mais adversos da minha trajetória acadêmica, como mestrando do curso de Bioenergia;

A Prof^a. Dr^a. Irene Zapparoli, por seus ensinamentos, conhecimentos e companheirismo, em especial por sua amizade;

A todo o corpo docente do Programa de Mestrado em Bioenergia, por todos seus ensinamentos e pronta disponibilidade, fundamentais para minha formação;

A equipe do laboratório de combustíveis da UEL, Lívia e Érica por todo apoio e suporte durante a realização das análises, em especial a uma grande amiga Kelly, pessoa ímpar e de grande conhecimento;

A toda a equipe de funcionários da Universidade Estadual de Londrina – UEL, pelo auxílio, tornando possível toda esta jornada acadêmica.

FILHO, Wilson Machado de Campos. **Estudo do perfil do biodiesel b-100 comercializado na região de Londrina:** aplicação de redes neurais do tipo mapa auto organizavel. 2014. 55 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

RESUMO

O presente estudo consistiu na análise e classificação de noventa e sete amostras de biodiesel B100 comercializado na região de Londrina, Paraná a fim de verificar seu comportamento no que diz respeito à qualidade deste biocombustível. A priori as noventa e sete amostras foram agrupadas de acordo com o ano de análise. Para cada ano foram atribuídas letras tituladas de A à D, estas compreendidas entre 2010 e 2013. Dos parâmetros de conformidade previamente analisados, encontram-se os preconizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da resolução nº 7 de 2008 (RANP 07/2008). Os parâmetros de conformidade analisados foram a massa específica, ponto de fulgor, índice de peróxido e índice de acidez. As amostras foram distribuídas de acordo com o total de amostras analisadas para cada ano, A (33), B (25), C (24) e D (15) e, os valores observados foram apresentados a Rede Neural Artificial do tipo Mapa Auto Organizável, bidimensional retangular, com a finalidade de obter uma classificação de acordo com as propriedades físico – químicas de cada amostra em função do ano de produção da amostra. A Rede Neural Artificial do tipo Mapa Auto Organizável foi treinada em dias diferentes e as amostras divididas aleatoriamente em dois grupos, treinamento e teste. Posteriormente, foram realizados os ajustes de ciclos de treinamento e dos números aleatórios de geração de dados, resultando na obtenção de mapas topológicos, ou mapas de Kohonen, possibilitando a visualização das relações de vizinhança entre os neurônios da rede, bem como, da análise de parâmetros estatísticos entre as variáveis apresentadas, a taxa de aprendizagem e estabilidade da Rede Neural Artificial utilizada. Foi constatado que para esta situação, a Rede Neural Artificial do tipo Mapa Auto Organizável diferenciou as amostras em relação ao ano e aos parâmetros de conformidade, preconizados pela ANP, possibilitando também, a constatação de que dentre os parâmetros de conformidade analisados, os de maior significância, portanto, bons para a distinção e classificação dessas amostras, foram a massa específica e o ponto de fulgor. As redes SOM mostraram-se de suma relevância para a classificação no que diz respeito ao perfil do biodiesel comercializado na região de Londrina, Paraná.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. Mapas Auto Organizáveis. Parâmetros de Conformidade. Biocombustível. Biodiesel.

FILHO, Wilson Machado de Campos. **Estudo do perfil do biodiesel b-100 comercializado na região de Londrina:** aplicação de redes neurais do tipo mapa auto organizavel. 2014. 55 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

ABSTRACT

This study consisted in the analysis and classification of ninety-seven samples of biodiesel B100 marketed in the region of Londrina, Paraná in order to verify its behavior as regarding the quality of this biofuel. Initially the ninety-seven samples were grouped according to the year of analysis. For each year were titrated attributed the letters A to D, these between 2010 and 2013. About the previously analyzed compliance parameters, there are those recommended by the Biofuel, Natural Gas and Petroleum National Agency (ANP), through resolution No. 7, 2008 (RANP 07/2008). The analyzed compliance parameters were the density, flash point and peroxide index and acid value. Samples were distributed according to the total number of samples analyzed for each year, A (33), B (25), C (24) and D (15), and the observed values were presented to Artificial Neural Network Self Organizing Map, two-dimensional rectangular, in order to obtain a classification according to the physical-chemical properties of each sample as a function of sample production year . Artificial Neural Network Self Organizing Map was trained on different days and the samples were randomly divided into two groups, training and testing. Later, the training cycles settings and random number generation data were performed, resulting in obtaining topological maps, or maps of Kohonen, enabling visualization of neighborly relations between the neurons of the network, as well as the analysis of statistical parameters between the variables presented, the rate of learning and stability of Artificial Neural Network used. It was found that for this, the Artificial Neural Network Self Organizing Map differentiated the samples through the year and the compliance parameters , recommended by the ANP, allowing also the realization that the most significant compliance parameters analyzed, therefore good for the distinction and classification of samples, were the density and the flash point. The SOM network proved to be of paramount importance for the classification of patterns with respect to biodiesel marketed in the region of the Londrina, Paraná.

Keywords: Artificial Neural Networks. Self Organizing Maps. Compliance parameters. Biofuel. Biodiesel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Reação de transesterificação para produção de biodiesel.	17
Figura 2 -	Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100), segundo grandes regiões (mil m ³ /ano) – 2013.	21
Figura 3 -	Capacidade instalada de produção de biodiesel B100 no Brasil.	23
Figura 4 -	Participação das matérias- primas usadas na produção do biodiesel B100 no Brasil.	24
Figura 5 -	Modelo estrutural de uma RNA.	28
Figura 6 -	Diferentes topologias para estruturação dos mapas auto-organizáveis: a) unidimensional; b) bidimensional hexagonal; c) bidimensional retangular.	31
Figura 7 -	Exemplo da arquitetura de rede neural do tipo mapa auto-organizável.	32
Figura 8 -	Valores obtidos da Massa Específica (a).	35
Figura 9 -	Valores obtidos do Ponto de Fulgor (b).	35
Figura 10 -	Valores obtidos para o índice de Acidez (c).	36
Figura 11 -	Valores para o Índice de Peróxido (d).	36
Figura 12 -	Gráfico do erro obtido para o treinamento e teste em relação ao número de ciclos de treinamento da rede com topologia 4x7.	38
Figura 13 -	Mapas topológicos de duas repetições para o treinamento e teste da rede utilizada.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização.	22
Tabela 2 - Macro região, total de usinas, capacidade nominal e percentual de usinas instaladas por macro região do país.	23
Tabela 3 - Parâmetros de conformidade para o biodiesel.....	26
Tabela 4 - Dados estatísticos de cada parâmetro utilizado para treinamento e teste de uma das redes utilizadas quando se utilizou 500 como número aleatório de geração de dados.....	39
Tabela 5 - Teste de Tukey aplicado às médias dos parâmetros utilizados na classificação dos diferentes anos de produção das amostras de biodiesel B100.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCT	MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AOAC	ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS
ANP	AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
CNPE	CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA
RNA	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS
SOM	SELF ORGANIZING MAPS
GEE	GASES DE EFEITO ESTUFA
PNPB	PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL
MME	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MAO	MAPA AUTO – ORGANIZÁVEL
ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
DOU	DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO
NBR	NORMA BRASILEIRA
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
CEN	COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
SO	ÓXIDO DE ENXOFRE
MP	MATERIAIS PARTICULADOS
CO	MONÓXIDO DE CARBONO
B100	BIODIESEL CEM POR CENTO (100%)
B2	MISTURA DIESEL – BIODIESEL NA PROPORÇÃO DE DOIS POR CENTO (2%)
B3	MISTURA DIESEL – BIODIESEL NA PROPORÇÃO DE TRÊS POR CENTO (3%)
B5	MISTURA DIESEL – BIODIESEL NA PROPORÇÃO DE CINCO POR CENTO (5%)
RFB	SECRETARIA DA RECEITA FEDERAL DO BRASIL
MF	MINISTÉRIO DA FAZENDA

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	GERAL	14
2.2	ESPECÍFICOS	14
3	BIODIESEL	15
4	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	27
5	MAPAS AUTO-ORGANIZAVEIS	30
6	MATERIAIS E MÉTODOS	33
6.1	MASSA ESPECÍFICA	33
6.2	PONTO DE FULGOR	33
6.3	ÍNDICE DE ACIDEZ	33
6.4	ÍNDICE DE PERÓXIDO	33
6.5	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	34
6.6	PROCESSAMENTO	34
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
	CONCLUSÕES	44
	PROJETOS FUTUROS	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do último século, impulsionado pelo capitalismo e o aumento populacional, o mundo passou a consumir e depender de uma crescente disposição de energia. O petróleo e os combustíveis produzidos a partir da sua destilação, por muito tempo figuraram como elementos indispensáveis para a vida moderna. Entre as décadas de 1900 e 1970, este era altamente difundido em razão do baixo preço e abundância.

Desde a invenção dos motores movidos a combustão interna com ignição por compressão, sabe-se que estes são capazes de operar por meio de óleos vegetais como fonte alternativa de combustível. Devido à sua aparente abundância, os combustíveis derivados do petróleo, inicialmente apresentavam custos menores quando comparados com o do próprio óleo vegetal produzido. Entretanto, após a primeira crise mundial do petróleo na década de 70, atentou-se quanto à instabilidade desta fonte de energia.

No Brasil a proposta da substituição dos combustíveis de origem fóssil, pelos obtidos através da biomassa, ganhou força após a referida crise e o marco deu-se ainda na década 70, com a criação do Programa Nacional do Álcool (PRÓÁLCOOL), que tornava real a substituição da gasolina pelo álcool combustível.

Visando estreitar ainda mais a dependência dos combustíveis derivados do petróleo e como alternativa consolidada para a substituição do diesel de origem fóssil, a utilização de óleos de origem vegetal é motivada pela produção do biodiesel, cujos testes realizados com esta fonte combustível apresentam resultados favoráveis e viáveis, isso também se considerarmos a capacidade produtiva nacional.

O biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, para serem utilizados em motores de ignição por compressão, também conhecidos como motores diesel.

Outro eixo norteador para o emprego da substituição dos combustíveis de origem fóssil é a questão ambiental, onde o emprego de óleos de origem vegetal prevê a redução e melhorias na gestão de resíduos, bem como da redução de gases nocivos ao meio ambiente e a qualidade de vida, em particular, à atmosfera.

Embora o Brasil também possua altos índices de emissões de gases de efeito estufa, estas, não chegam a afetar tão significativamente a atmosfera terrestre como os países desenvolvidos. Ainda, segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2002), o Brasil assim como a maioria dos países em desenvolvimento, não é o grande responsável por estas emissões, isto se deve ao fato de ser o Brasil, um país de clima tropical, com invernos moderados e mais de 60% da sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis de energia.

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira deu-se por meio do Decreto Lei de 23 de dezembro de 2003, complementado pela Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Inicialmente a Lei previa a adição facultativa da mistura na proporção de 2% biodiesel para 98% de diesel mineral (B2), entre os períodos de 2005 a 2007 (ANP). A mistura tornou-se obrigatória a partir de janeiro de 2008 (SOUZA et al. 2009). Ano também, no qual, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), através da Resolução 02/2008 torna obrigatória a elevação do percentual da mistura, de 2 para 3% (B3) a partir de 1º de julho do mesmo ano (CNPE, 2008).

Além da obrigatoriedade o CNPE determina o aumento dessa mistura de 3 para 5% a partir de 2013 (B5), com perspectivas de crescimento do percentual ao longo dos anos. Contudo, tornando necessária a adoção de medidas quanto ao controle de qualidade do biodiesel, devido seu processo natural de degradação, corrosão ou adulteração, e conseqüentemente as suas misturas ao diesel.

Dentre as exigências preconizadas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), quanto aos parâmetros de conformidade do biodiesel, encontram-se os que são provenientes da normatização do diesel mineral e os que foram originados dos óleos de origem vegetal, comumente utilizados na indústria óleoquímica.

As análises dos parâmetros de qualidade preconizados pela ANP são: massa específica a 20°C; viscosidade cinemática a 40°C; teor de água; contaminação total; ponto de fulgor; teor de éster; resíduo de carbono; cinzas sulfatadas; enxofre total; sódio + potássio; cálcio + magnésio; corrosividade ao cobre; número de cetano; ponto de entupimento de filtro a frio; índice de acidez;

glicerol livre; glicerol total; mono, di, triacilglicerol; metanol ou etanol; índice de iodo; estabilidade a oxidação a 110°C.

Diante das exigências acima preconizadas, faz-se necessária a otimização do processo em termos qualitativos e quantitativos, conferindo agilidade e segurança no controle de qualidade do biodiesel. Nos processos industriais, os modelos computacionais “inteligentes” tornaram-se muito importantes e têm sido usados em todas as etapas desde a produção até a segmentação de mercado, ou seja, o consumidor final.

Uma ferramenta que tem se mostrado muito adequada nos tratamentos de dados que possuem comportamento não linear são as redes neurais artificiais (RNA). Existem vários tipos de redes neurais tais como, perceptron de uma ou múltiplas camadas, redes de base radial, mapas auto-organizáveis, dentre outros.

A utilização das RNA permite obter não somente ganhos significativos de desempenho, mas também possibilita o desenvolvimento de aplicações inovadoras capazes de expandir nossos sentidos e habilidades intelectuais e, com isso, permite avaliar a influência de cada atributo auxiliando os especialistas em suas tomadas de decisões.

Os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen são um tipo de rede neural artificial baseada em aprendizado competitivo e não supervisionado, sendo capaz de mapear um conjunto de dados de um espaço de entrada contido em um conjunto finito de neurônios organizados em um arranjo, normalmente unidimensional ou bidimensional e, por fornecer uma aproximação discreta das chamadas superfícies principais, é adequado para a tarefa de seleção de características.

O principal objetivo dos mapas auto-organizáveis (SOM) de Kohonen é agrupar os dados de entrada que são semelhantes entre si formando classes ou agrupamentos denominados “clusters” (KOHONEN, 1997; FONSECA et al., 2006). Para um uso mais racional do SOM é importante o emprego de ferramentas estatísticas para avaliar tanto a preservação da topologia inerente aos dados, como a variabilidade do erro de quantização e estabilidade das relações de vizinhança (BODT et al. 2002).

Para isso, foram testados alguns parâmetros estabelecidos pela ANP, tais como, massa específica, ponto de fulgor, índice de peróxido e índice de acidez, atendendo as normas ASTM D6751 e EN 14214, com aplicação das redes neurais artificiais para o biodiesel 100% (B100) comercializado na região de Londrina, Estado do Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho tem como proposta aplicar e adaptar a metodologia de redes neurais artificiais (RNA) para identificar e classificar amostras de biodiesel B100.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinação de parâmetros físico-químicos em amostras de biodiesel.
- Aplicação de redes neurais do tipo Mapas Auto-organizáveis.
- Reconhecer padrões significativos para a diferenciação de amostras de biodiesel.

3 BIODIESEL

A evolução humana tem sido acompanhada, principalmente nas últimas décadas, por avanços tecnológicos. A cada dia, torna-se mais visível a queda de antigos paradigmas e a substituição nos modos de vida da sociedade (COSTA et al., 2012). Estabelecendo também que todo o consumismo excessivo, assim como a preferência natural do ser humano a coisas que agreguem tecnologia de ponta, criam gigantescas quantidades de produtos e serviços, também requerendo em seu processo de produção enorme aplicação de energia. Para Santos e Pinto (2008), a maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, uma fonte limitada, finita e não renovável.

Benedetti et al. (2006), enfatiza que o crescimento das sociedades com sua industrialização desenfreada, fruto da associação entre industrialização e crescimento econômico, tem mostrado sua face destruidora. Desde o século passado combustíveis derivados do petróleo tem sido a principal fonte de energia mundial. No entanto, previsões de que este recurso deva chegar ao fim, somadas às crescentes preocupações com o ambiente, têm instigado a busca de fontes de energias renováveis (RAMOS et al., 2003).

Além do eventual esgotamento das reservas de petróleo e os seus reflexos na economia, também é preciso considerar os aspectos ambientais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o uso de combustíveis fósseis é a principal causa do aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (RAMOS et al., 2011). A presente pesquisa aponta também que a temperatura média da Terra aumentará entre 1,8 e 4 °C até o ano de 2100 e isto deverá acelerar o derretimento das geleiras, elevar o nível do mar e provocar intensos furacões. O balanço hídrico do planeta também deverá ser alterado e o índice pluviométrico de algumas regiões mudará significativamente (RAMOS et al., 2011).

No âmbito das discussões sobre a escassez do petróleo e principalmente pela questão ambiental, Bacchi (2006) ressalta o Protocolo de Kyoto, discutido e negociado no Japão em 1997 e em vigor a partir de fevereiro de 2005, diversos países assumiram o compromisso de reduzir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerado de acordo com a maioria das investigações

científicas, como a causa do aquecimento global. Entretanto, Pacheco (2006) aponta para a importância dos estudos e avanços tecnológicos e econômicos quanto à produção de fontes renováveis de energia, obtidas a partir de matéria prima orgânica de origem animal e vegetal, a biomassa.

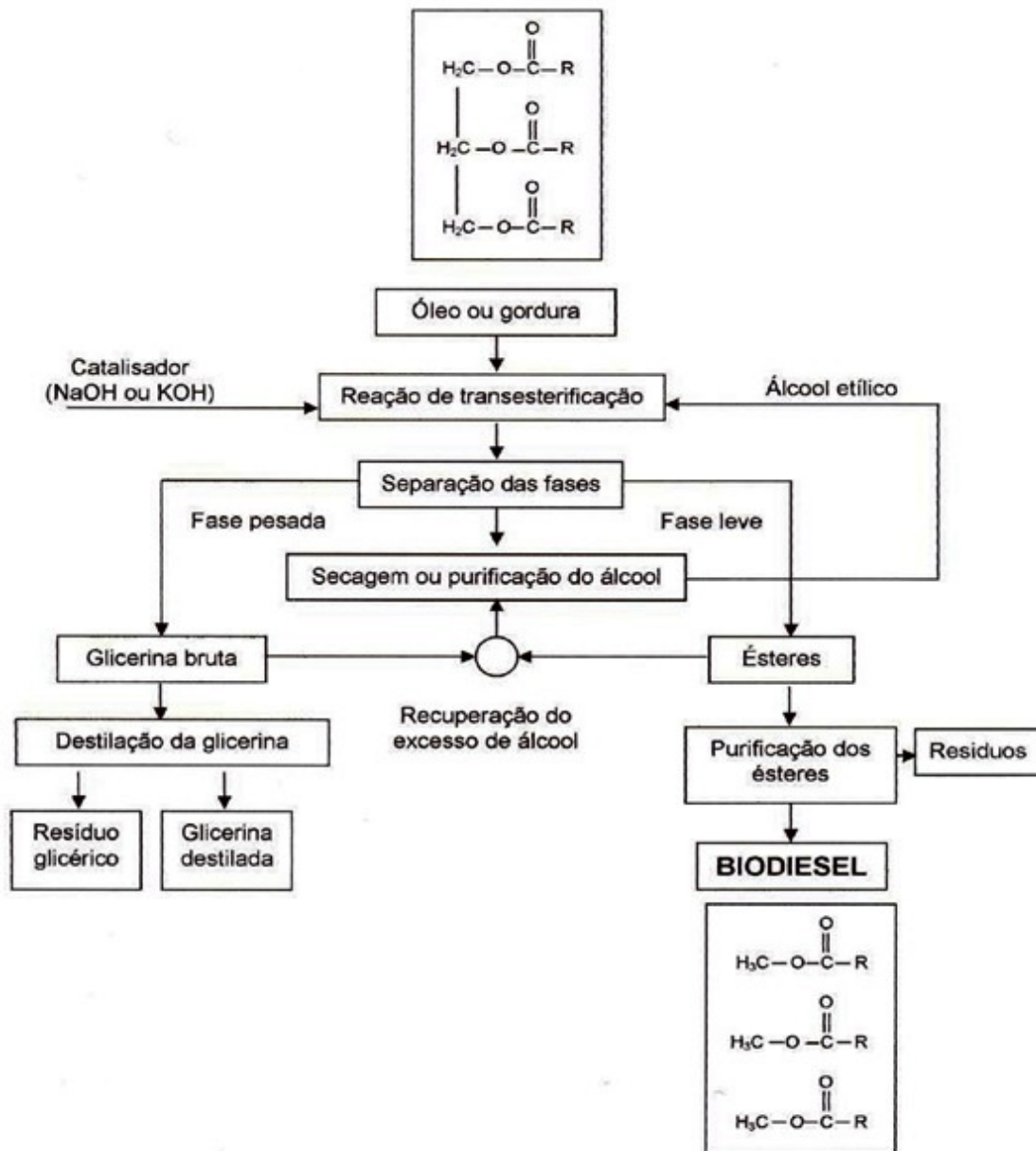
Para Couto et al. (2004), a biomassa é toda massa presente na biosfera, que engloba simultaneamente tanto os seres vivos, como também o conjunto de resíduos gerados por estes seres vivos, mas que não encontram-se completamente decompostos em moléculas elementares. Borsato et al. (2010), relaciona o reaproveitamento destes resíduos como fontes renováveis de energia, em especial, quanto aos óleos vegetais e gorduras animais, para a produção de biodiesel, a qual é uma denominação genérica para combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, permitindo assim, sua utilização em motores de ignição por compressão, também conhecidos como motores diesel.

O biodiesel pode ser produzido a partir de várias matérias-primas; é possível obter o combustível partindo de óleos vegetais, gorduras animais ou produtos residuais, como o óleo de fritura já usado (ORIVES, et al.; 2014). As estruturas químicas das gorduras animais e a dos óleos vegetais é semelhante, pois ambas apresentam triglicerídeos de ácidos graxos (FILHO, 2010).

Recentemente, o biodiesel surgiu como uma alternativa viável em termos de combustível renovável. A principal rota de obtenção do biodiesel é a partir da transesterificação de óleos vegetais com alcoóis (metanol e etanol), usando catálise ácida, básica ou enzimática (PLÁ, 2002; SILVA; FREITAS, 2008; MOTA et al., 2009). Sendo assim, o biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis e aditivos derivados de fontes renováveis, como dendê, babaçu, soja, palma, mamona, entre outras (HOLANDA, 2004).

A figura 1 descreve a rota tecnológica etílica para obtenção do biodiesel, pelo processo de transesterificação, por catálise básica (Hidróxido de Sódio ou Hidróxido de Potássio). Nesse processo, destacam-se o reaproveitamento do etanol e a produção da glicerina destilada como coproduto, a qual aumenta a eficiência econômica do processo.

Figura 1 - Reação de transesterificação para produção de biodiesel.



Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia (BRASIL, 2005).

Num contexto geral, para adoção e implementação dos biocombustíveis com a finalidade de produzir energia limpa e ecologicamente correta, deve-se levar em consideração todo o processo produtivo e estabelecer um balanço entre a quantidade e qualidade da energia gerada, pelos mesmos fatores gastos na sua geração. Soares et al., 2008; Macedo e Nogueira, 2005 ressaltam sobre esta viabilidade afim de verificar quanto a existência ou não da sustentabilidade energética no processo, não podendo a energia consumida na

produção ser maior que a energia disponibilizada pelo combustível quando consumido.

A mesma relação é válida, quando comparados os índices de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Macedo e Nogueira (2005) concluem também que, quando comparados o diesel mineral com o biodiesel na sua forma pura, a redução de GEE estão entre 40 a 60%. Estudos apontam também que a redução nas emissões de GEE variam em função do tipo de óleo vegetal usado na produção do biodiesel, e que estes na sua forma B100 oriundos do óleo de soja, amplamente empregado na produção brasileira, apresenta redução em 48% de monóxido de carbono (CO), 47% de materiais particulados (MP), 100% em óxidos de enxofre (SO) e 67% em hidrocarbonetos totais (Foschiera, 2008). Ou seja, concluem que à medida que se aumentam os valores percentuais às misturas diesel/biodiesel, os índices de emissões de SO, diminuem na mesma proporção. A incorporação do biodiesel, mesmo de forma progressiva, adições de 2% à 5% em volume de diesel mineral, resultarão positivamente para a redução de GEE (MACEDO e NOGUEIRA, 2005; RAMOS et al., 2003).

Por tratar-se de um óleo de origem vegetal ou gordura animal, o biodiesel B100 é facilmente biodegradável, o que significa que liberado acidentalmente no meio ambiente, não é prejudicial aos diversos seres vivos. Essa característica representa uma grande vantagem nos casos de inevitáveis vazamentos acidentais durante o transporte ou reabastecimento dos motores (PLÁ, 2002).

A consolidação do uso do biodiesel como combustível é potencialmente promissora e viável para o mundo inteiro, pelo fato de ele possibilitar, ao contrário do óleo diesel, a redução qualitativa e quantitativa dos níveis de poluição ambiental, bem como, por valorizar o potencial que representa como fonte de energia renovável aos resíduos agrícolas e agroindustriais (COUTO et al., 2004).

No Brasil, a organização da cadeia produtiva do biodiesel está sendo viabilizada através da criação do Probiodiesel, que vem incentivando em grande escala a produção do biodiesel tanto pela indústria quanto pelo agricultor (COSTA et al. 2012). O governo federal brasileiro lançou, em dezembro de 2004, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), como tentativa de organizar a

cadeia produtiva, definir as linhas de financiamento e estruturar a base tecnológica (PARADA et al., 2012).

O Brasil é o primeiro país a dominar a tecnologia para produção de biodiesel totalmente renovável, contando no processo com o álcool de cana-de-açúcar no lugar de metanol, um derivado do petróleo, reduzindo assim os custos de produção (COUTO et al, 2004). O Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento, por meio do Plano Nacional de Agroenergia, enfatizam que, a produção brasileira de biodiesel deve utilizar etanol no processo, por ser produzido em abundância, apresentar baixo custo e baixo poder poluente (BRASIL, 2005; SPACINO et al., 2013). Sobretudo, reforçando a produção totalmente renovável (COUTO et al. 2004).

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira deu-se por meio do Decreto Lei de 23 de dezembro de 2003, complementado pela Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Inicialmente a Lei previa a adição facultativa da mistura na proporção de 2% biodiesel para 98% de diesel mineral (B2), entre os períodos de 2005 a 2007 (ANP).

A mistura tornou-se obrigatória a partir de janeiro de 2008 (SOUZA et al. 2009). Ano também, no qual, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), através da Resolução 02/2008 torna obrigatória a elevação do percentual da mistura, de 2 para 3% (B3) a partir de 1º de julho do mesmo ano (CNPE, 2008). Além da obrigatoriedade o CNPE determinou o aumento dessa mistura de 3 para 5% a partir de 2013 (B5), com perspectivas de crescimento do percentual ao longo dos anos.

Recentemente entrou em vigor a partir de 25 de setembro de 2014 (DOU), a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, que dispõe sobre a adição de biodiesel com óleo diesel comercializado com o consumidor final, a qual altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993 e revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, ficando estabelecido no artigo 1º a elevação da mistura em 6% (seis por cento medidos em volume) a partir de 1º de julho de 2014 e também a elevação de 6 para 7% (sete por cento, em volume) a partir de 1º de novembro de 2014, podendo está, restabelecer-se em função da demanda em 6% de volume da mistura (DOU, 2014).

Atualmente existem 58 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, o que corresponde a uma capacidade total autorizada de 21.046,79 m³/dia. Em 2013 a capacidade instalada do Brasil, para produção de biodiesel, era de 8 milhões de m³ (22 mil m³/dia). Entretanto, a produção foi de 2,9 milhões de m³, correspondendo a 36,4% da capacidade total (ANP, 2014).

De acordo com o balanço anual do biodiesel apresentado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, para a distribuição de produção no ano de 2013 por macrorregiões da federação, fica distribuído da seguinte maneira em ordem decrescente: região Centro – Oeste 1.183,1 mil m³/ano; região Sul 1.132,4 mil m³/ano; região Nordeste 278,4 mil m³/ano; região Sudeste 261,4 mil m³/ano e região Norte 62,2 mil m³/ano (ANP, 2014).

O mercado nacional para o biodiesel é aquecido pelo Selo Combustível social, principal diferencial do PNPB, em relação aos programas internacionais, cuja meta brasileira é a inserção da agricultura familiar na produção de oleaginosas, incentivadas pelo estado e agricultores (sindicatos), com a participação do setor privado. Cabendo ao estado à criação de incentivos fiscais ao setor privado, para a aquisição de oleaginosas produzidas pela agricultura familiar, esta por sua vez é responsável por atender a demanda pelo biodiesel produzido por essas empresas privadas (SILVA, 2013).

Silva (2013) também ressalva, que tais medidas interferem diretamente na participação do setor privado nos leilões de biodiesel realizados pela ANP, onde somente empresas portadoras do Selo Combustível Social participam do processo e para obtenção deste selo as empresas devem cumprir uma série de diretrizes estabelecidas pelo Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel (PNPB).

A figura 2 apresenta a capacidade nominal instalada e produção por macro regiões do Brasil no ano de 2013, para a produção do biodiesel independente da rota tecnológica empregada no processo produtivo.

Figura 2 - Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100), segundo grandes regiões (mil m³/ano) – 2013.



Fonte: ANP/SPD

Segundo o boletim de desempenho mensal do biodiesel divulgado pela ANP e atualizado no mês de setembro de 2014, atualmente o Estado do Paraná possui 4 (quatro) plantas em funcionamento, sendo 3 (três) plantas autorizadas à produção e comercialização e, 1 (uma) planta autorizada à produção do biodiesel B100 (ANP, 2014).

A tabela 1 contempla as empresas paranaenses com autorização para produção e comercialização diante a ANP, bem como sua localização,

capacidade de produção em metros cúbicos por dia (m³/dia) e a data de publicação em Diário Oficial da União (DOU) das portarias para autorização de produção e comercialização.

Tabela 1 - Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização.

Empresa	Município	UF	Capacidade (m ³ /dia)	Autorização para produção	Autorização para comercialização
Big Frango	Rolândia	PR	6	Nº 80 de 17/2/2011 DOU de 18/2/2011	—
Biopar	Rolândia	PR	120	Nº 127 de 21/6/2007 DOU de 22/6/2007	Nº 103 de 18/2/2009 DOU de 19/2/2009
Bsbios	Marialva	PR	510	Nº 127 de 21/6/2007 DOU de 22/6/2007	Nº 362 de 22/3/2013 DOU de 25/3/2013
Potencial	Lapa	PR	477	Nº 185 de 25/2/2013 DOU de 26/2/2013	Nº 278 de 06/3/2013 DOU de 07/3/2013

Fonte: ANP – Boletim de Desempenho Mensal do Biodiesel, setembro de 2014.

O mesmo relatório apresentou que a contribuição paranaense acumulada na produção de biodiesel B100 ano de 2013, foi de 210.716 m³ e que até agosto de 2014 foram totalizados 208.428 m³, o que corresponde a 82,6 % do ano anterior, sendo a capacidade de produção instalada no estado em agosto de 2014 de 1.113 m³/dia (ANP, 2014; MME, 2014).

Na publicação de 08 de outubro de 2014 no DOU, o Ministério de Minas e Energia (MME) apresentou em seu Boletim de Desempenho dos Combustíveis Renováveis (usinas com Autorização de Comercialização na ANP e Registro Especial na RFB/MF) a capacidade instalada por macro regiões do país (MME, 2014).

A tabela 2 apresenta o total de plantas autorizadas a comercialização de biodiesel segundo a ANP, sua capacidade nominal e o percentual representativo por macro regiões do país.

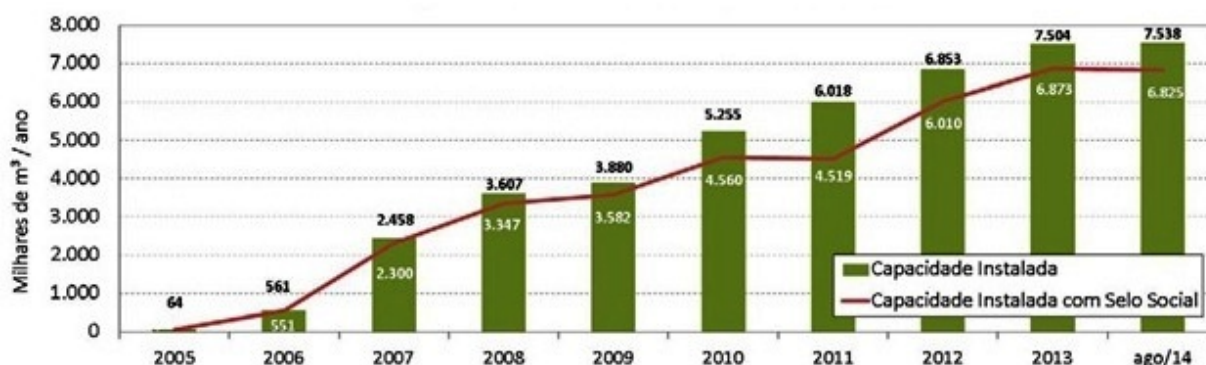
Tabela 2 - Macro região, total de usinas, capacidade nominal e percentual de usinas instaladas por macro região do país.

MACRO REGIÃO	TOTAL DE USINAS	CAPACIDADE NOMINAL (mil m ³ /ano)	PERCENTUAL REPRESENTATIVO (%)
Centro - Oeste	26	3.348	44
Sul	13	2.626	35
Sudeste	10	918	12
Nordeste	3	455	6
Norte	3	191	3

Fonte: MME, 2014.

Na figura 3 estão retratadas às capacidades instaladas da produção de biodiesel no Brasil, que compreende o período de 2005 à agosto de 2014, no qual é possível a observação da trajetória crescente do biodiesel ao longo dos anos. Isto devido à obrigatoriedade da adição biodiesel ao diesel mineral.

Figura 3 - Capacidade instalada de produção de biodiesel B100 no Brasil.



Fonte: MME, 2014.

Quanto à participação das matérias primas para a produção nacional do B100, o MME aponta ainda, para a predominância da soja, com participação de 75,4%, seguida pelos 20,1% da gordura bovina e 1,3% de algodão, no acumulado até agosto de 2014 (MME, 2014).

Na figura 4 apresenta o comportamento percentual quanto a adoção e participação das matérias primas na produção do biodiesel brasileiro compreendido entre 2008 e o acumulado de agosto de 2014.

Figura 4 - Participação das matérias- primas usadas na produção do biodiesel B100 no Brasil.



Fonte: ANP; MME, 2014.

A qualidade do biodiesel pode sofrer variações conforme as estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes, ou devido à presença de contaminantes oriundos da matéria prima do processo de produção, ou ainda formados durante a estocagem do biodiesel (LÔBO et al., 2009). Contudo, tornando necessária a adoção de medidas quanto ao controle de qualidade do biodiesel, devido seu processo natural de degradação, corrosão ou adulteração, e conseqüentemente as suas misturas ao diesel.

As exigências preconizadas pela ANP, quanto aos parâmetros de conformidade do biodiesel, encontram-se os que são provenientes da normatização do diesel mineral e os que foram originados dos óleos de origem vegetal, comumente utilizados na indústria óleoquímica (BRASIL, 2012). As especificações para o biodiesel 100%, a ser misturado com diesel mineral, são estabelecidas através da resolução nº 7 de 2008 (RANP 07/2008), substituindo a resolução nº 42 de 2004, tornando os parâmetros de conformidade do biodiesel brasileiro ainda mais restritivos, atendendo assim, a resolução ANP 15/2006 (LÔBO et al., 2009).

O ponto de fulgor do B100 está relacionado à sua inflamabilidade, uma vez que este indica a temperatura mínima para que certa quantidade desse combustível gere vapores inflamáveis à presença de uma chama ou centelha, em condições controladas. Este valor serve como indicativo de segurança para o manuseio, transporte, armazenamento e uso do combustível (GALLINA et al., 2011).

Para o parâmetro de massa específica, Nichetti (2010) estabelece como sendo a razão entre a massa de uma determinada substância por uma unidade de volume, à pressão e temperatura previamente especificadas. Esta é uma

medida fundamental para a determinação da pureza da substância, uma vez que na presença de contaminantes, a massa específica é significativamente alterada.

O monitoramento da acidez no biodiesel é de grande importância, pois, sobretudo, indica o estado de conservação do óleo e em situações de estocagem a alteração dos valores neste período pode significar a presença de água (LÔBO et al., 2009; MACHADO et al., 2006).

Trigueiro e Penteado (1993) estabelecem para o índice de peróxido de um óleo, como sendo sua capacidade a oxidação. A análise do índice de peróxido indica todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio a iodo, portanto, peróxidos ou similares provenientes da oxidação de gorduras (MACHADO et al., 2006), estando estes diretamente relacionados ao funcionamento e tempo de vida útil dos motores.

A tabela 3 mostra os parâmetros de conformidade e seus respectivos valores, estabelecidos pela ANP para o B100 e o diesel mineral. Estes parâmetros têm como base os padrões preconizados pela ASTM (American Society of Testing and Materials) e CEN (Comité Européen de Normalisation).

Tabela 3 - Parâmetros de conformidade para o biodiesel.

Característica	Unidade	Brasil (ANP 07/2008)	UE (EN 14214)	EUA (ASTM D6751)
Aspecto	---	Límpido e isento de impurezas	---	---
Massa específica *	Kg/m ³	850-900 a 20 °C	860-900 a 15°C	---
Viscosidade cinemática a 40 °C *	mm ² /s	3,0-6,0	3,5-5,0	1,9-6,0
Água e sedimentos, Max. *	% volume	---	---	0,05
Ponto de fulgor, min. *	°C	100	120	130
Destilação; 90% vol. recuperados, máx. *	°C	---	---	360
Resíduo de carbono dos, máx. *	% massa	Em 100% da amostra 0,05	10% residual da destilação 0,3	Em 100% da amostra 0,05
Cinzas sulfatadas, máx. *	% massa	0,02	0,02	---
Enxofre total, máx. *	mg/Kg	50	10	15
Corrosividade ao cobre, 3 h a 50 °C, máx. *	---	1	1	3
Número de cetanos *	---	Anotar	51 (mín.)	47 (mín.)
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. *	°C	19	Por região	---
Ponto de fluidez (pour point - PP) *	°C	---	Por região	---
Ponto de nuvem (cloud point - CP) *	°C	---	---	Registrar
Sódio + Potássio, Max	mg/Kg	5	5	---
Cálcio + Magnésio, Max	mg/Kg	5	5	---
Fósforo, Max	mg/Kg	10	10	10
Contaminação total, Max	mg/Kg	24	24	---
Teor de éster, min.	% massa	96,5	96,5	---
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	0,5	0,5
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, máx.	% massa	0,25	0,25	0,24
Monoglicerídeos	% massa	Anotar	0,8 (Max.)	---
Diglicerídeos	% massa	Anotar	0,2 (Max.)	---
Triglicerídeos	% massa	Anotar	0,2 (Max.)	---
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,20	0,20	---
Índice de iodo	g I ₂ /100g	Anotar	120 (máx.)	---
Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín	h	6	6	---
Água, máx.	mg/Kg	500	500	500
Ácido linolênico	% massa	---	12 (Max.)	---
Metil ésteres com mais que 4 insaturações	% massa	---	1 (Max.)	---

* Parâmetros típicos da conformidade do diesel mineral

Fonte: LÔBO et al.; Quim. Nova, Vol. 32, No. 6, 1596-1608, 2009

4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Diante às exigências correlatas a todo processo produtivo, como da comercialização do biodiesel, faz-se necessária a otimização do processo em termos qualitativos e quantitativos, a fim de conferir agilidade e segurança no controle de qualidade do biodiesel. Ao tratar-se de processos industriais, os modelos computacionais “inteligentes” tornaram-se muito importantes e têm sido usados em todas as etapas desde a produção até a segmentação de mercado (CREMASCO, 2014; CORNEY, 2002). Graças à computadorização dos instrumentos, o principal problema não é mais como obter os dados, mas sim, como tratá-los de modo eficiente (CERQUEIRA et al., 2001).

Gerir e administrar uma infinidade de dados, bem como verificar seu “comportamento” em todos os aspectos, torna-se uma tarefa complexa. Visando ampliar estas possibilidades uma ferramenta que tem se mostrado mais adequada nos tratamentos onde os dados possuem comportamentos não lineares são as RNA.

Zanata (2005) classifica como “principais propriedades e capacidades” das RNA, sua não linearidade, tolerância a falhas, adaptabilidade e mapeamento de entrada – saída, o último relacionado à sua capacidade de aprender a reconhecer padrões. Versatilidade esta, também apresentada por Borsato et al. (2009), para realizar o mapeamento de relações complexas e não lineares entre múltiplas variáveis de entrada e saída.

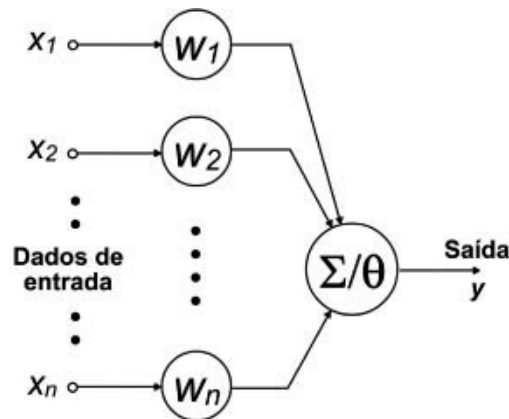
No entanto, entre as desvantagens do emprego das RNA, consiste a necessidade de uma grande quantidade de dados de treinamento (BORSATO et al., 2009), já Bocanegra (2002) conclui que nas diversas circunstâncias estudadas, incluindo pequenas quantidades de amostras, as Redes Neurais Artificiais ainda sim apresentam melhores soluções do que as técnicas estatísticas convencionais. Entretanto, ambos concordam que vários trabalhos vêm apresentando propostas promissoras e favoráveis a sua utilização em funções de maiores complexidades.

A origem da teoria de Redes Neurais remonta aos modelos matemáticos e os modelos da engenharia de neurônios biológicos (KOVÁCS, 1996). Sua proximidade com as funções cognitivas do cérebro humano dá-se sob dois aspectos: o conhecimento é adquirido do ambiente pela rede, por meio do processo de aprendizado e o conhecimento adquirido é armazenado através da definição de

pesos internos, análogos às conexões sinápticas dos neurônios artificiais (ZANATA, 2005).

A figura 3 representa o modelo básico estrutural de uma Rede Neural Artificial e processamento dos dados de entrada e saída da rede.

Figura 5 - Modelo estrutural de uma RNA



Fonte: Fiorin et al. Aplicações de Redes Neurais e Previsões de Disponibilidade de Recursos Energéticos Solares. 2011.

Haykin (2001) também segmenta a proximidade entre o cérebro humano e as RNAs como sendo: (i) O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem. (ii) Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

Uma rede neural artificial é um processador constituído de unidades de processamento simples capaz de armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso (HAYKIN, 2001). Esta unidade básica de processamento é chamada de neurônio, como anteriormente citado, análogo ao cérebro humano. Os neurônios formam entre si grandes conexões caracterizadas por pesos sinápticos (HAYKIN, 2011). Assim, defini-se o conhecimento: informação armazenada ou modelos utilizados por uma pessoa ou máquina para interpretar, prever e responder apropriadamente ao mundo exterior (HAYKIN, 2001).

Cada neurônio artificial pode receber vários estímulos de entrada e gerar vários estímulos de saída. Sendo que, este fluxo de estímulos é propagado através de uma rede de conexões (CREMASCO, 2014). A capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida são, os atrativos

principais da solução de problemas através das RNAs. A generalização está associada à capacidade da rede em aprender através de um conjunto reduzido de exemplos e, posteriormente, dar respostas coerentes a dados não apresentados a rede (BRAGA et al., 2007).

Zanata (2005) expõe que a capacidade de aprendizado das RNAs vai muito além de simplesmente mapear relações de entrada e saída, pois, por meio de um número reduzido de dados não conhecidos, estas posteriormente fornecem respostas coerentes. Portanto, as RNAs possuem a capacidade de aprender através exemplos e fazer interpolações e extrapolações do que aprenderam (BRAGA et al., 2007).

A utilização de uma rede neural artificial para a solução de uma tarefa passa, inicialmente, por uma fase de aprendizagem, onde a rede extrai características relevantes de padrões de informações apresentados para a mesma, criando assim uma representação própria para o problema (BRAGA BRAGA et al., 2007).

Existem vários tipos de redes neurais artificiais, tais como perceptron de uma ou múltiplas camadas, redes de base radial, mapas auto-organizáveis, dentre outros (CREMASCO, 2014). Entretanto, a determinação da estrutura da RNA empregada deve seguir alguns parâmetros como: o paradigma neural apropriado à aplicação; topologia da rede, número de camadas, número de unidades em cada camada e a escolha das funções de ativação; determinação dos parâmetros do algoritmo de treinamento que por sua vez, resulta em um grande impacto nas capacidades e limitações do desempenho do sistema resultante (ZANATA, 2005).

Kohonen (2001) propõe a divisão das redes neurais em três categorias: redes de transferência de sinal, redes de transferência de estado e redes competitivas. As redes de aprendizagem competitiva estão baseadas no processo competitivo de aprendizagem entre suas unidades. Uma das principais aplicações destas redes é a descoberta de agrupamentos de dados em que consistem em um processo adaptativo onde os neurônios, numa rede neural artificial, tornam-se gradualmente sensíveis a diferentes categorias de entrada e a conjuntos de amostras num domínio específico do espaço de entrada. (SILVA, 2007).

5 MAPAS AUTO-ORGANIZAVEIS

Um tipo de RNA conhecida como Mapa Auto-Organizável (MAO) ou Mapa de Kohonen, baseia-se num processo competitivo e não supervisionado, utilizando padrões de entrada cujo arranjo de um conjunto de neurônios finitos, normalmente estão organizados de maneira unidimensional, bidimensional ou n-dimensional (DANIELEWICZ; FERREIRA, 2013; NOLETO 2007; SPACINO et al., 2013).

A competição baseia-se na saída da grade, os neurônios competem entre si para serem disparados ou ativados (neurônio vencedor). Estas redes combinam competição com uma forma de aprendizagem para fazer os ajustes de seus pesos. Fornecendo assim, uma aproximação discreta das chamadas superfícies principais tornando-se adequado para a tarefa de seleção de características (HAYKIN, 2001).

Noletto (2007) explica que os neurônios da grade estão totalmente conectados com todos os neurônios da camada de entrada e podem estar dispostos de acordo com uma determinada topologia. A topologia da grade dita como os neurônios estão interconectados por uma relação de vizinhança. Outra característica importante deste tipo de rede é que elas utilizam treinamento não supervisionado, onde a rede busca encontrar similaridades baseando-se apenas nos padrões de entrada (SPACINO et al., 2013).

Os MAOs constituem uma classe de redes neurais artificiais conhecidas como redes competitivas. Neste tipo de rede, todos os neurônios (unidades básicas de processamento da rede) recebem o mesmo estímulo de entrada e competem entre si para identificar quem é o vencedor (GORGÔNIO; COSTA, 2007).

Gorgônio e Costa (2007) também ressaltam que uma vez treinada, a rede MAO pode ser utilizada para classificar padrões e agrupá-los segundo suas características presentes no espaço de entrada. Uma vez que a rede associa cada padrão apresentado à camada de entrada a um neurônio da camada de saída, pode-se usar esse mapeamento para agrupar dados semelhantes, também chamados na bibliografia de clusters.

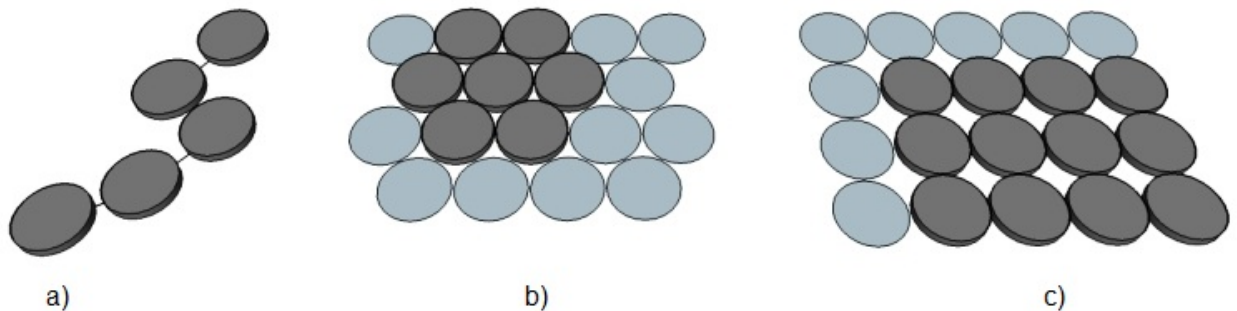
O uso do mapa auto-organizável em análise de agrupamentos requer ferramentas adicionais. Em um mapa tradicional, a única informação de saída

quando apresentamos um padrão, são os índices do neurônio vencedor, e o erro de quantização, que pode ser dado pela distância entre o padrão de entrada e o neurônio (HAYKIN, 2001). O principal objetivo da função de vizinhança é controlar o nível de atuação dos neurônios em torno do neurônio vencedor do processo competitivo (SILVA, 2005).

Existem diferentes topologias para a estruturação de um mapa auto-organizável, unidimensional, bidimensional com organização hexagonal dos neurônios 6 - vizinhos e bidimensional com disposição retangular de neurônios - 4 vizinhos (HAYKIN, 2001; SILVA, 2005).

A figura 4 apresenta as diferentes topologias mais utilizadas e suas relações de vizinhança em função do neurônio vencedor.

Figura 6 - Diferentes topologias para estruturação dos mapas auto-organizáveis: a) unidimensional; b) bidimensional hexagonal; c) bidimensional retangular.



Fonte: SILVA, M. A. S. Mapas Auto-Organizáveis na Análise Exploratória de Dados Geoespaciais Multivariados. 2005.

Figura 7. Diferentes topologias para estruturação dos mapas auto-organizáveis: a) unidimensional; b) bidimensional hexagonal; c) bidimensional retangular.

A formação do mapa topológico obtido por meio do MAO consiste na sua habilidade de utilização dos padrões de entrada, de forma que a disposição dos neurônios da grade reflete características estatísticas contidas nesses padrões (GORGÔNIO; COSTA, 2007). Com isso, as redes SOM preservam a topologia entre os espaços de entrada e saída, permitindo que se enxerguem padrões que seriam invisíveis em um ambiente p -dimensional (COSTA, 1999).

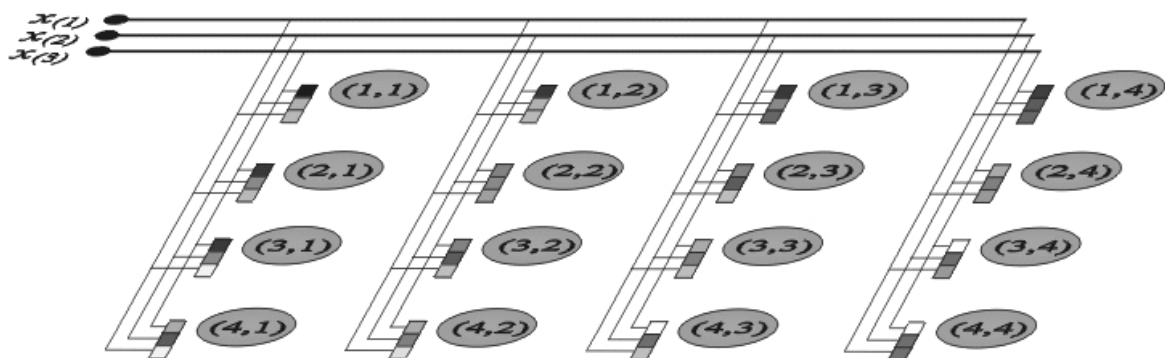
As arquiteturas auto-organizáveis, como propostas por Kohonen (1997), geram mapeamentos de um espaço de dimensão elevada em estruturas cuja dimensão topológica é inferior à original. Fato este, devido aos agrupamentos de dados conforme suas relações de vizinhança.

Gorgônio e Costa (2007) consideram a arquitetura de uma rede neural do tipo MAO extremamente simples, pois esta é constituída apenas de duas camadas de neurônios, onde a primeira camada (camada de entrada) é composta pela quantidade de atributos da tabela de dados, em que cada neurônio de entrada está conectado a todos os neurônios da camada seguinte (camada de saída).

A segunda camada, também conhecida como camada de Kohonen ou camada de saída, representa o mapa onde o conjunto de entrada será projetado, sendo composta por um conjunto de neurônios, freqüentemente dispostos na forma de um vetor ou de uma matriz, onde cada neurônio está conectado apenas aos seus vizinhos (GORGÔNIO; COSTA, 2007).

Na figura 5 está representada a arquitetura de uma RNA do tipo MAO em que a topologia ou matriz é previamente definida na fase de treinamento da rede.

Figura 8 - Exemplo da arquitetura de rede neural do tipo mapa auto-organizável.



Fonte: GORGÔNIO, F. L.; COSTA, J. A. F. Análise de Agrupamentos Distribuída Através de Múltiplos Mapas Auto-Organizáveis (2007).

O processo competitivo é o mais custoso em processo de treinamento em que geralmente trata-se de uma busca sequencial pelo neurônio vencedor. Enquanto que a determinação dos parâmetros de aprendizagem e sua dimensionalidade, em geral, são empíricas, fortemente baseadas na experiência do usuário e em métodos de tentativa e erro. Outro fator relevante é o tamanho da

topologia adotada, este por sua vez, deve depender do tipo de problema proposto, o que na maioria das vezes, é também um processo empírico (SILVA, 2005).

Entretanto, para a análise e interpretação das respostas apresentadas existe um conjunto razoável de mecanismos de avaliação da qualidade do mapa gerado após o processo de aprendizagem da rede. Dentre eles o erro de quantização vetorial e o erro topológico (KOHONEN, 2001).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

As 97 amostras de biodiesel B100, comercializadas na região de Londrina-PR, durante o período compreendido entre janeiro de 2010 a julho de 2013, foram submetidas ao ensaio de massa específica a 20 °C, ponto de fulgor, índice de acidez e índice de peróxido. Os valores tabulados foram apresentados a rede neural do tipo mapas auto-organizáveis (mapa de Kohonen), para classificação de estabelecimento do perfil das amostras comercializadas na região de Londrina-PR.

6.1 MASSA ESPECÍFICA.

A determinação da massa específica foi realizada de acordo com a norma NBR 7148.

6.2 PONTO DE FULGOR

A determinação do ponto de fulgor foi realizada com o Fulgor Full Control, modelo PD 500, Petrodidática, de acordo com a norma NBR 14598.

6.3 ÍNDICE DE ACIDEZ.

A determinação do índice de acidez foi realizada através do método de titulação, de acordo com a norma NBR 14448.

6.4 ÍNDICE DE PERÓXIDO

A determinação do índice de peróxido foi realizada através de titulação, com tiosulfato de sódio pelo método A. O. A. C. Cd 8-53 (A. O. C. S., 1998).

6.5 REDES NEURAS ARTIFICIAIS.

Foi utilizado o módulo de redes neurais artificiais do software Statistica 9.1. A ordem de entrada dos parâmetros na rede foram os valores da massa específica, ponto de fulgor, índice de acidez e índice de peróxido. Foi utilizada uma rede do tipo mapa auto-organizável.

6.6 PROCESSAMENTO.

Todos os resultados dos experimentos foram processados em um computador Intel Pentium Core 2 Duo de 1,8 GHz e 2 GB de memória RAM.

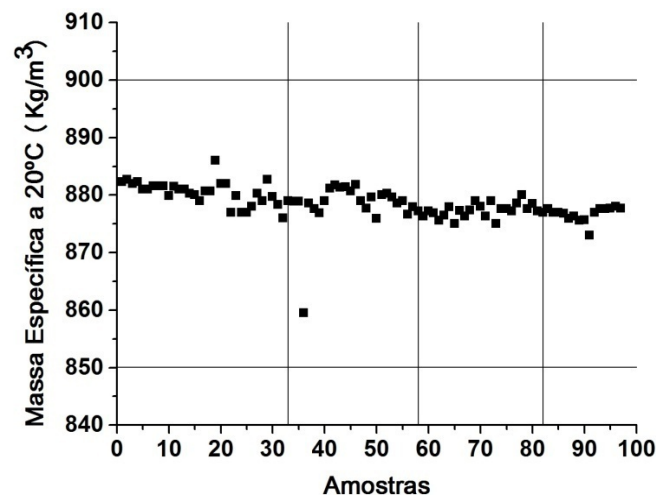
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A legislação vigente no Brasil, especificada na Resolução da ANP nº 14 de 11.05.2012 – DOU 18.05.2012, estabelece os parâmetros de conformidade para o biodiesel B100, sendo para a massa específica de 850 a 900 kg m⁻³, ponto de fulgor de 100°C mínimo, índice de acidez máximo de 0,5 mg_{KOH} g⁻¹. E para o índice de peróxido, de acordo com BORSATO et al. (2010), recomenda-se utilizar um biodiesel B100 quando o seu respectivo valor encontra-se abaixo de 15 m_{eq} kg⁻¹.

As amostras foram identificadas com as letras, onde cada letra corresponde ao ano de análise; A (33) de 2010, B (25) de 2011, C (24) de 2012 e D (15) de 2013 onde o número entre parênteses indica a quantidade de amostras analisadas para cada ano.

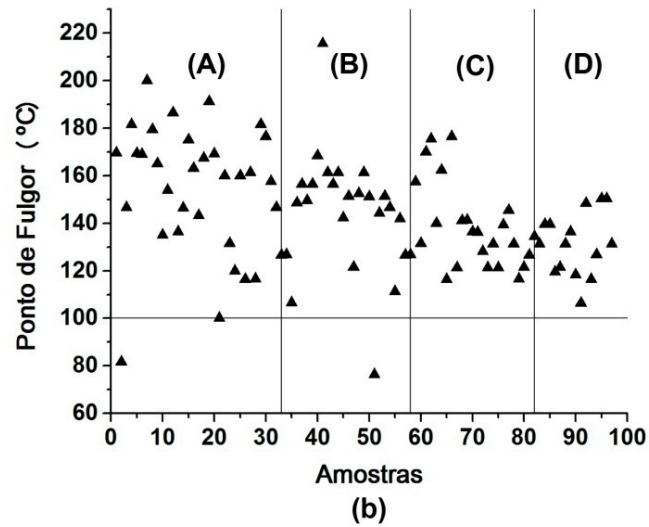
A Figura 6 mostra os valores obtidos para o parâmetro massa específica (Kg m⁻³) das 97 amostras analisadas, separadas por ano de amostragem. As linhas horizontais indicam os limites dos parâmetros de conformidade de acordo com a legislação vigente no Brasil. A análise dos resultados, levando-se em consideração as normas estabelecidas pela Resolução nº 7, mostrou que todas as amostras estavam de acordo com a legislação vigente isto é, entre 850 a 900 Kg/m³.

Figura 9 - Valores obtidos da Massa Específica (a).



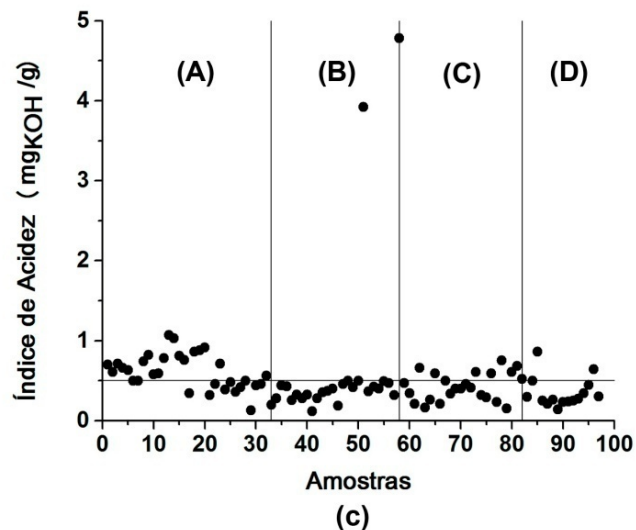
A Figura 7 representa os valores obtidos para o ponto de fulgor e a linha horizontal indica o valor mínimo (100°C) em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela ANP. Três amostras apresentaram-se fora dos parâmetros de conformidade, duas em (A) e uma em (B).

Figura 10 - Valores obtidos do Ponto de Fulgor (b).



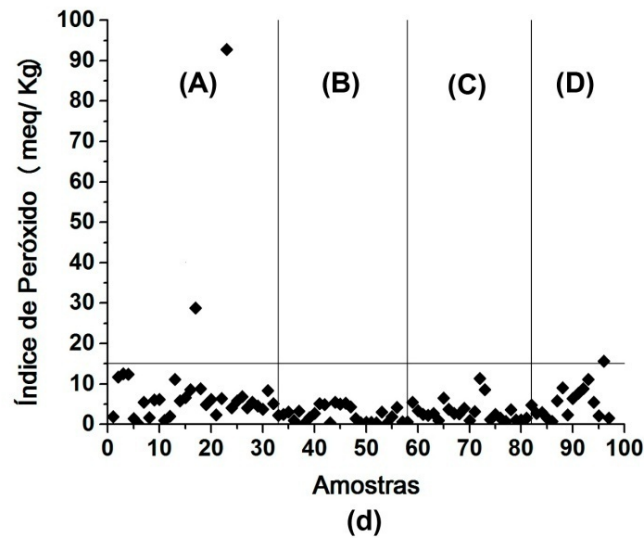
Na Figura 8 a linha horizontal indica o limite máximo para o índice de acidez, de acordo com as normas nacionais e internacionais (ANP 07/2008; ASTM D6751; EN 14214), estabelecidas em $0,5 \text{ mg}_{\text{KOH}}/\text{g}$. O gráfico apresenta uma grande quantidade de amostras fora da especificação.

Figura 11 - Valores obtidos para o índice de Acidez (c).



A Figura 9 apresenta o comportamento para o índice de peróxido abaixo de $15 \text{ m}_{\text{eq}}/\text{Kg}$. Três amostras apresentaram-se fora dos parâmetros de conformidade recomendados, duas em (A) e uma em (D).

Figura 12 - Valores para o Índice de Peróxido (d).



Neste trabalho foi implementado o algoritmo SOM bidimensional, onde o mapa auto-organizável transforma um padrão de sinal incidente de dimensão arbitrária em um mapa discreto bidimensional realizando esta transformação de uma maneira topologicamente ordenada (4X7).

A rede SOM, do módulo automático de redes neurais do STATISTICA 9.0, foi alimentada com os parâmetros de massa específica, ponto de fulgor, índice de acidez e peróxido, totalizando 97 amostras analisadas no Laboratório de Pesquisa e Análise de Combustíveis da Universidade Estadual de Londrina-PR. As especificações estabelecidas pela ANP não foram utilizadas para fim de treinamento da rede, isto é, não foram informadas para a rede utilizada.

As amostras de biodiesel B100 dos diferentes anos foram divididas, aleatoriamente, em duas partes sendo que a primeira representando o conjunto de treinamento da rede foi formada com 70% das amostras. Já o segundo grupo chamado de teste foi composto com 30% das amostras, sendo que este conjunto teve como objetivo produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento, e com isso validar a sua capacidade de aprendizagem. O parâmetro de vizinhança começou com um valor inicial igual a três diminuindo essencialmente para zero e o parâmetro da taxa de aprendizagem iniciou com valor inicial de 10% decaindo para 2% (HAYKIN, 2001).

No modelo de Kohonen cada neurônio da grade apresenta a mesma quantidade de pesos, que por sua vez, deve ser no mínimo igual ao número de

variáveis analisadas. Cada variável é representada por um plano de pesos, que após a fase de treinamento pode ser utilizado na tentativa de extrair regras sobre os grupos formados. O algoritmo responsável pela formação do SOM inicializa os pesos sinápticos aleatoriamente, assim, nenhuma organização prévia é imposta ao mapa de características. Após a inicialização, há três processos essenciais: competição, cooperação e adaptação sináptica (MELSSSEN et al., 2006).

Na rede, cada padrão de entrada é posicionado sobre o mapa de características de acordo com a posição do neurônio vencedor da amostra considerada. A função do mapa topológico é facilitar a visualização de agrupamentos e também a relação de vizinhança entre os grupos formados. Grupos próximos partilham de alguma similaridade, assim como, quanto maior a distância maior será a diferença de comportamento (MELSSSEN et al. 2006).

Segundo Bodt et al. (2002), as duas principais fontes de variabilidade para o SOM são pela inicialização e amostragem. O treinamento de vários mapas usando sempre o mesmo conjunto de dados, possibilitaria apenas a análise da variabilidade pelo processo de geração aleatória dos pesos iniciais. Para aumentar a confiabilidade da topologia utilizada, o módulo de redes neurais do Statistica 9.0 permite utilizar um gerador de números inteiros aleatórios que produz amostras diferentes evitando os problemas decorrentes da inicialização e amostragem, a cada novo treinamento e teste.

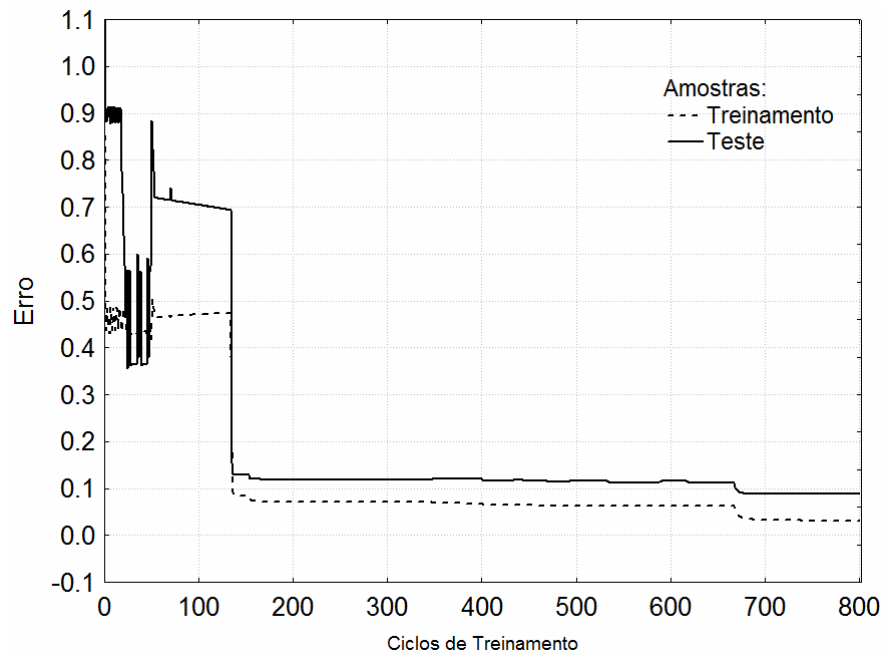
Para testar as duas principais fontes de variabilidade das redes foi utilizado primeiramente o gerador de número aleatório igual a 250 e depois 500 para cada SOM com ciclos de 250, 500, 750 e 1000. Para cada SOM, com o mesmo gerador de número aleatórios, cada rede foi treinada 10 vezes para verificar se as propriedades topológicas estavam sendo preservadas (BODT, et al., 2002).

Foi possível observar que a topologia 4 x 7, com a aplicação de números aleatórios de geração de dados iguais ou maiores que 500 e ciclos de treinamento igual a 750, foi a mais adequada para os dados analisados, porque a variação de erros obtida ficou entre 0,0202% e 0,0223% para treinamento e 0,0811% e 0,0982% para teste.

A Figura 10 indica que de 630 a 750 ciclos, durante a fase de ordenação, são suficientes para realizar o treinamento da rede com a topologia 4 x 7. Entretanto, foi escolhido 750 ciclos devido ao fato de que a partir deste valor os

mapas não sofreram mais modificações quanto a disposição e vizinhança das amostras.

Figura 13 - Gráfico do erro obtido para o treinamento e teste em relação ao número de ciclos de treinamento da rede com topologia 4x7.



A Tabela 4 mostra o valor máximo e mínimo, valor médio e desvio padrão de cada parâmetro utilizado para treinamento e teste de uma das redes utilizadas na classificação e identificação do ano, quando utilizados 750 ciclos de treinamento e 500 como número aleatório de geração de dados. Este valor inteiro produz as amostras aleatórias, onde para criar uma amostragem diferente ele deve ser alterado. Habitualmente, o grau em que duas ou mais variáveis independentes estão relacionados com a variável dependente é expressa no coeficiente de correlação (R^2). Para o caso em estudo o valor do R^2 foi igual a 0,21. Portanto presume-se que a relação entre as variáveis é não linear e com isso as redes de Kohonen podem ser aplicadas para o caso, pois, de acordo com Ritter (1995), um mapa auto-organizável é inerentemente não linear.

Tabela 4 - Dados estatísticos de cada parâmetro utilizado para treinamento e teste de uma das redes utilizadas quando se utilizou 500 como número aleatório de geração de dados.

Amostras	Massa específica	Ponto de Fulgor	Índice de Acidez	Índice de Peróxido
Treinamento				
Mínimo	873,0000	76,3000	0,115000	0,26000
Máximo	886,0000	215,5000	4,780000	92,70000
Média	878,5912	143,0735	0,557421	5,29363
Desvio padrão	2,1996	23,9932	0,698907	11,47790
Teste				
Mínimo	859,5000	81,6000	0,185000	0,08000
Máximo	882,7000	200,0000	1,027000	15,62000
Média	878,4241	146,8379	0,498907	5,33203
Desvio padrão	4,2690	24,4954	0,223290	4,28426
Geral				
Mínimo	859,5000	76,3000	0,115000	0,08000
Máximo	886,0000	215,5000	4,780000	92,70000
Média	878,5412	144,1990	0,539927	5,30511
Desvio padrão	2,9493	24,0786	0,596808	9,86402

A Tabela 5 mostra o valor médio, o número de amostras utilizadas, o desvio padrão e a comparação entre os valores médios obtidos para cada parâmetro utilizado, para os diferentes anos de amostragem, utilizando o teste de Tukey. Letras iguais mostram que não há diferença significativa entre as médias obtidas para cada parâmetro das amostras analisadas nos diferentes anos. Além disso, de acordo com o teste de Levene's, como o menor valor de p observado foi de cerca $5\% \leq p \leq$

11,68% de a hipótese de homogeneidade para variância em nível de 5% pode ser aceita (STATISTICA, 2009).

Tabela 5 - Teste de Tukey aplicado às médias dos parâmetros utilizados na classificação dos diferentes anos de produção das amostras de biodiesel B100.

Ano	Massa Específica (Kg m ⁻³)	Fulgor (°C)	Índice de acidez (mg _{KOH} g ⁻¹)	Índice de Peróxido (meq Kg ⁻¹)
A (33)	880,43 ^a (0,3578)	154,06 ^a (4,7134)	0,60 ^b (0,0393)	8,92 ^b (2,7691)
B (25)	878,36 ^b (0,8519)	144,50 ^{ab} (5,1368)	0,68 ^b (0,2229)	2,33 ^b (0,3781)
C (24)	877,29 ^b (0,2508)	138,47 ^{ab} (3,6526)	0,42 ^b (0,0359)	3,27 ^b (0,5251)
D (15)	876,70 ^b (0,3317)	131,15 ^b (3,4165)	0,35 ^b (0,0491)	5,56 ^b (1,0976)

O teste de Tukey aplicado às médias (Tabela 5) mostrou que, para a massa específica, somente para as amostras do ano A existe diferença significativa, em nível de 5% em relação as demais. Para o ponto de fulgor existe diferença significativa apenas entre os anos A e D. Para o índice de acidez e índice de peróxido não foram observados nenhuma diferença significativa entre os anos considerados, mostrando que não são bons parâmetros de diferenciação e classificação. Porém, a rede não leva em consideração a análise do valor médio de nenhum parâmetro. Ela é treinada, utilizando um conjunto de dados, para identificar as características e com isso classificar as amostras (BORSATO et al., 2011).

A Figura 11 mostra os mapas de duas das 10 repetições do treinamento e teste, utilizando a topologia 4 x 7, onde cada quadrado representa um neurônio.

Figura 14 - Mapas topológicos de duas repetições para o treinamento e teste da rede utilizada.

TREINAMENTO 1							
	1	2	3	4	5	6	7
1	A10	A		B7	B6	B5	B2
2	A11						
3	C		C3	C4	C		D4
4	C2	C	C2	C2	C2		D4

TESTE 1							
	1	2	3	4	5	6	7
1	A7			B3	B2		
2	A4						
3		C2	C		C		D6
4			C		C		D

TREINAMENTO 2							
	1	2	3	4	5	6	7
1	B18	B2	A	A6	A3	A8	A4
2	B						
3	D5		C3	C3	C2	C	C2
4	D3		C2	C2	C2		C

TESTE 2							
	1	2	3	4	5	6	7
1	B5			A2	A	A4	A4
2							
3	D6			C	C2		
4	D		C		C	C	

(a) (b)

A cada inicialização do aplicativo, em dias diferentes, observou-se que sempre foi obtido o mesmo mapa e seu respectivo espelho (Figura 11a e 11b) e em todos os casos, as condições de vizinhança para o treinamento e teste foram respeitadas.

Vale ressaltar que nas 10 repetições da topologia utilizada, apesar do algoritmo responsável pela formação do SOM inicializar os pesos sinápticos aleatoriamente sem nenhuma imposição de organização prévia, podemos verificar que os agrupamentos, a cada inicialização, mesmo em posições diferentes, mantiveram a mesma relação de vizinhança mostrando, com isso, a estabilidade da rede utilizada e da preservação das propriedades topológicas (MELSSSEN et al., 2006). Isto indica que a rede empregada, na topologia escolhida, consegue discriminar as amostras de acordo com o ano de análise.

Em todos os mapas obtidos foi possível verificar uma separação entre as amostras do ano A e D. A única amostra que permaneceu agrupada, tanto para treinamento quanto para teste, em pelo menos um conjunto de mapas, foi a amostra D. Apesar das amostras B, C e D mudarem de posição nos dois mapas de treinamento apresentados elas mantiveram a mesma relação de vizinhança, assim como, A, B e C.

É possível observar que as amostras A e C, apresentam uma maior dispersão indicando que os parâmetros de conformidade analisados não tiveram padrões de qualidade semelhantes.

De acordo com a Tabela 5, as amostras dos anos A e D apresentam diferença significativa nos parâmetros de massa específica e ponto de fulgor, “similaridade” essa comprovada pelos mapas na Figura 11, onde as mesmas amostras estão distantes uma da outra.

As amostras A, B, e C não apresentam diferença significativa nos parâmetros analisados, exceto quanto à massa específica isto faz com que elas permaneçam mantendo uma vizinhança próxima, fato este que também deve explicar o fato de ora A estar dispersa, ora A estar concentrada numa determinada região do mapa.

CONCLUSÕES

A metodologia empregada no uso do SOM para as 97 amostras de biodiesel B100 analisadas mostrou-se de suma relevância para o reconhecimento de padrões significativos à diferenciação e classificação do perfil desse biodiesel comercializado na região de Londrina. Para este caso o módulo da RNA utilizada permitiu a diferenciação das amostras de acordo com seu ano de produção em função de suas características físico-químicas, bem como, da distinção dos parâmetros de conformidade de maior significância para a classificação, estes a massa específica e ponto de fulgor.

PROJETOS FUTUROS

- ✓ Aprimorar e expandir meus conhecimentos a cerca das Redes Neurais Artificiais, bem como das suas aplicações;
- ✓ Intensificar os estudos sobre a organização da cadeia produtiva do biodiesel no Brasil e também, de outras formas de geração de energia limpa e sustentável;
- ✓ Compreender o mercado financeiro e tecnológico nacional e internacional da bioenergia e da otimização de produtos da biomassa;
- ✓ Contribuir com a bibliografia, por meio de produção escrita e participação em congressos com a divulgação de dados e pesquisas científicas;
- ✓ Transmitir os conhecimentos adquiridos ao longo do curso para as novas gerações, enfatizando as alternativas para a produção de energia por meio de fontes renováveis, bem como da sua relação direta com meio ambiente e qualidade de vida;
- ✓ Estender e ampliar a utilização das Redes Neurais Artificiais, para análise de qualidade do biodiesel e outros biocombustíveis, em âmbito nacional;
- ✓ Realizar estudos e pesquisas experimentais, buscando estabelecer uma relação comportamental efetiva entre a qualidade do ar nas grandes cidades, à medida em que aumenta-se o percentual da mistura diesel – biodiesel.

REFERÊNCIAS

A. O. A. C. OFFICIAL METHODS AND RECOMMENDED PRACTICES OF THE AMERICAN OIL CHEMIST'S SOCIETY, 4TH EDN., edited by D. Firestone, American Oil Society, Champaign, 1997, Method Cd 8-53.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL, 2014. Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis, setembro de 2014, Brasília, DF.2014.

AZEVEDO, F. M.; BRASIL, L. M. e OLIVEIRA, R. C. L. REDES NEURAIAS COM APLICAÇÕES EM CONTROLE E EM SISTEMAS ESPECIALISTAS. Florianópolis: Bookstores. 2000, 401p.

BACCHI, M. R. P. BRASIL - GERANDO ENERGIA DE BIOMASSA, LIMPA E RENOVÁVEL. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). São Paulo, julho, 2006.

BASTOS, V. D. ETANOL, ALCOOLQUÍMICA E BIORREFINARIAS, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

BENEDETTI, O.; PLÁ, J. A.; RATHMANN, R.; PADULA, A. D. UMA PROPOSTA DE MODELO PARA AVALIAR A VIABILIDADE DO BIODIESEL NO BRASIL. Teoria e Evidência Econômica, v. 14. Ed. Especial, p. 81 – 107. Passo Fundo, 2006.

BOCANEGRA, C. W. R. PROCEDIMENTOS PARA TORNAR MAIS EFETIVO O USO DAS REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS EM PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

BODT, E.; COTTRELL, M.; VERLEYSSEN, M. STATISTICAL TOOLS TO ASSESS THE RELIABILITY OF SELF-ORGANIZING MAPS. Neural Networks, v.15, p.967-978, 2002.

BOISHEBERT, V.; GIRAUDEL, J. L.; MONTURY, M. CHARACTERIZATION OF STRAWBERRY VARIETIES BY SPME-CG-MS AND KOHONEN SELF-ORGANIZING MAP. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v.80, p.13-23, 2006.

BORSATO, D.; DALL'ANTONIA, L. H.; GUEDES, C. L. B.; MAIA, E. C. R.; FREITAS, H. R.; MOREIRA, I.; SPACINO, K. R.; APLICAÇÃO DO DELINEAMENTO SIMPLEX-CENTROIDE NO ESTUDO DA CINÉTICA DA OXIDAÇÃO DE BODIESEL B100 EM MISTURA COM ANTIOXIDANTES SINTÉTICOS *Quim. Nova* 2010, 33, 1726.

BORSATO, D.; MOREIRA, I.; NOBREGA, M. M.; MOREIRA, M. B.; DIAS, G. H. APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA IDENTIFICAÇÃO DE GASOLINAS ADULTERADAS COMERCIALIZADAS NA REGIÃO DE LONDRINA – PARANÁ. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 9, 2328-2332, 2009.

BORSATO, D.; MOREIRA, I.; PINT, J.P.; MOREIRA, M.B.; NOBREGA, M.M.; CONSTANTINO, L.V. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE DIESEL INTERIOR EM MISTURA COM BODIESEL. *Acta Scientiarum*, v32, n.2, p.187-192, 1910.

BORSATO, D.; PINA, M. V. R.; SPACINO, K. R.; SCHOLZ, M. B. S.; ANDROCIOLI, A. APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE GEOGRAPHICAL IDENTIFICATION OF COFFEE SAMPLES. *European Food Research & Technology*, v.233, p. 533-543, 2011.

BRAGA, A. P.; FERREIRA, A. C. P. L.; LUDERMIR, T. B. REDES NEURAS ARTIFICIAIS: TEORIA E APLICAÇÕES. LTC Editora, 2007.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Brasília, 2005. 120p.

BRASIL – Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ESTABELECE A ESPECIFICAÇÃO PARA COMERCIALIZAÇÃO DE BIODIESEL QUE PODERÁ SER ADICIONADO AO ÓLEO DIESEL. Resolução n.º 14, de 11 de maio de 2012, publicado no Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2012.

BRASIL – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. BOLETIM MENSAL DOS COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS. Resolução n.º 80, de 08 de outubro de 2014, publicado no Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2014.

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, Brasília, DF, ano 2014, nº 185, 25 de setembro de 2014. Seção 1, pg. 3.

BRASIL. Resolução nº 7 de 9 de fevereiro de 2011 da ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ESTABELECE A ESPECIFICAÇÃO PARA O ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO COMBUSTÍVEL. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de abril de 2011.

CERQUEIRA, E. O.; ANDRADE, J. C.; POPPI, R. J. REDES NEURAIS E SUAS APLICAÇÕES EM CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA. *Quim. Nova*, Vol. 24, No. 6, 864-873, 2001.

CNPE – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. Resolução nº 2, de 13 de março de 2008 - fl. 2.

CORNEY D. FOOD BYTES: INTELLIGENT SYSTEMS IN FOOD INDUSTRY. *British Food Journal*, v.104, n.10, p.787-805, 2002.

COSTA, J. A. F. CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA E ANÁLISE DE DADOS POR REDES NEURAIS AUTO-ORGANIZÁVEIS. Tese de Doutorado, FEEC, UNICAMP. 1999.

COSTA, V. L.; KOVALESKY, J. L.; JUNIOR P. P. A.; COSTA D. L.; MORSCHER E. L. A INTRODUÇÃO DO BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA, CADEIA PRODUTIVA E PROCESSO PRODUTIVO. Revista ADMpg Gestão Estratégica, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p.43-51, 2012.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. VIAS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA. Biomassa & Energia, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.

CREMASCO, H. APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS DO TIPO MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS: ESTUDO DE CASOS. 2014. 83f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

DANIELEWICZ, G.; FERREIRA, G. V. AVALIAÇÃO DE REDES NEURAS NO RECONHECIMENTO DE COMPLEXO QRS EM SINAIS DE ELETROCARDIOGRAFIA. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação), Departamento de Eletrônica/Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, 2013.

DENARDI, E. P. O BRASIL E O PROTOCOLO DE KYOTO. AMBIENTE – 2009.

FELIPE, M. G. A. EM BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: P&D PARA PRODUTIVIDADE SUSTENTABILIDADE; Cortez, L. A. B., ed.; Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 2010, cap. 3 parte 4.

FILHO, J. B. S. PRODUÇÃO DE BIODIESEL ETÍLICO DE ÓLEOS E GORDURAS RESIDUAIS (OGR) EM REATOR QUÍMICO DE BAIXO CUSTO. 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 73 p.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. APLICAÇÕES DE REDES NEURAS E PREVISÕES DE DISPONIBILIDADE DE RECURSOS

ENERGÉTICOS SOLARES. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, 1309, 2011.

FONSECA, A.M.; BISCAYA, J.L.; AIRES DE SOUZA, J.; LOBO, A.M. GEOGRAPHICAL CLASSIFICATION OF CRUDE OILS BY KOHONEN SELF-ORGANIZING MAPS. *Analytica Chimica Acta* 556, p.374–382, 2006.

FOSCHIERA, I. P. O PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL: IMPACTOS E PERSPECTIVAS. Monografia (Curso de Ciências Sociais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, dezembro, 2008.

GALÃO, O. F. ; BORSATO, D ; PINTO, J. P.; VISENTAINER, J. V.; CARRÃO-PANIZZI, M. ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION OF SOYBEAN CULTIVARS BY PLANTING REGION. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 22, p. 142-147, 2011.

GALLINA, A. L.; FOLQUENIN, E. K. F.; BANCZEK, E. P.; CUNHA, M. T.; BORGES, C. P. F. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO - QUÍMICA DO BIODIESEL B100 E DE MISTURAS BIODIESEL / DIESEL. v. 13 nº 2, p. 211-226. Guarapuava – PR, jul/dez 2011.

GORGÔNIO, F. L.; COSTA, J. A. F. ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DISTRIBUÍDA ATRAVÉS DE MÚLTIPLOS MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS. Laboratório de Sistemas Adaptativos - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

HAMMOND, M. H.; RIEDEL, C. J.; ROSE-PEHRSSON, S. L.; WILLIAMS, F. W. TRAINING SET OPTIMIZATION METHODS FOR A PROBABILISTIC NEURAL NETWORK. *Chemometrics and Intelligent Laboratory systems*, v.71,p.73-78, 2004.

HAYKIN, S. *Neural Networks: A COMPREHENSIVE FOUNDATION*. 2nd. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2011. 823 p.

HAYKIN, S. *REDES NEURAS: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 900p.

HOLANDA, A. BIODIESEL E INCLUSÃO SOCIAL. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004.

KOHONEN, T. SELF ORGANIZING MAPS. Series in Information Sciences, Vol 30, 2 nd edition Springer – Verlag, Heidelberg, 1997.

KOHONEN, T. SELF-ORGANIZING MAPS. Berlin: Springer, 2001. 501 p.

KOVÁCS, Z. L. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES. São Paulo: Editora Acadêmica, 1996, 163p.

LIMA, P. C. R. BIODIESEL: UM NOVO COMBUSTÍVEL PARA O BRASIL, CONSULTORIA LEGISLATIVA - ESTUDO, p 9, , BRASÍLIA – DF, 2005.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. BIODIESEL: PARÂMETROS DE QUALIDADE E MÉTODOS ANALÍTICOS. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 6, 1596-1608, Salvador - BA, Brasil, 2009.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. AVALIAÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República, Cadernos NAE, n. 2, 2005.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. COMPOSIÇÃO EM ÁCIDOS GRAXOS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE ÓLEOS HIDROGENADOS DE COCO BABAÇU. *Revista Ceres*, v. 53, n. 308, pg. 463 – 470. Viçosa – MG, jul./ago. 2006.

MELSSSEN, W.; WEHRENS, R.; BUYDENS, L. SUPERVISED KOHONEN NETWORKS FOR CLASSIFICATION PROBLEMS. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, v.83, p.99-113, 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA - RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS E POR USO DE SOLVENTES. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. 2002.

MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A.; GONÇALVES, V. L. C. GLICEROQUÍMICA: NOVOS PRODUTOS E PROCESSOS A PARTIR DA GLICERINA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 3, 639-648, 2009.

MUKESH, D. Applications OF NEURAL COMPUTING FOR PROCESS CHEMISTS: I. INTRODUCTION TO NEURAL NETWORK. *Journal of Chemical Education*, v.73, n.5, p.431-433, 1996.

NICHETTI, T. ATUALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO TECNOLÓGICO SOBRE AS TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DO PONTO DE FULGOR, MASSA ESPECÍFICA DE PRODUTOS DE PETRÓLEO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO ETANOI. 2010. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Química, Porto Alegre, 2010.

NOLETO, L. F. MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO DE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS PARA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO. Departamento de Infomática e Estatística; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2007. Florianópolis, SC, Brasil.

ORIVES, J. R.; GALVAN, D.; COPPO, R. L.; RODRIGUES, C. H. F.; ANGILELLI, K. G.; BORSATO, D. MULTIRESPONSE OPTIMISATION ON BIODIESEL OBTAINED THROUGH A TERNARY MIXTURE OF VEGETABLE OIL AND ANIMAL FAT: SIMPLEX-CENTROID MIXTURE DESIGN APPLICATION. *Energy Conversion and Management*, n.79, p. 398 – 404, january 2014.

PACHECO, F. ENERGIAS RENOVÁVEIS: BREVES CONCEITOS. *Conjuntura e Planejamento*. SEI, n.149, p.4-11, Salvador, outubro/2006.

PARADA, C.; FABIANI, M.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA VEICULAR BRASILEIRA. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 12, n. 1, 94-111.

PLÁ, J. A. PERSPECTIVAS DO BIODIESEL NO BRASIL. *Indic Econ, FEE, Porto Alegre*, v. 30, n. 2, 179-190, set, 2002.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M. BIODIESEL: UM PROJETO DE SUSTENTABILIDADE ECONOMICA E SÓCIO – AMBIENTAL PARA O BRASIL. *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*. Edição nº 31, julho/dezembro, 2003.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL. *Revista Virtual Química*, vol. 3, nº 5, 385-405. 2011.

RAUBER, T. W.; *Redes neurais artificiais*. DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA-UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRÍTO SANTO, 2005.

RITTER, H. SELF-ORGANIZING FEATURE MAPS: KOHONEN MAPS, in M. A. Arbib, ed., *The Handbook of Brain Theory and Neural Network*, pp.846-851, Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

SANTOS, A. P. B.; PINTO, A. C. BIODIESEL: UMA ALTERNATIVA DE COMBUSTÍVEL LIMPO. *Revista Química Nova na Escola*. Vol. 31 Nº 1, Fevereiro, 2009.

SILVA, J. A. AVALIAÇÃO DO PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL NO BRASIL – PNPB. *Revista de Política Agrícola*, ano XXII, N. 3. Jul./Ago./Set. 2013.

SILVA, J. A.; SILVA, F. L. H.; ALVES, R. R. N.; SANTANA, D. P. INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NITROGÊNIO, FÓSFORO E BRIX NA PRODUÇÃO DOS METABÓLICOS SECUNDÁRIOS CONTAMINANTES TOTAIS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA. *Química Nova*, v.29, n.4, p.695-698, 2006.

SILVA, J.A.; DAMASCENO, B.P.G.L.; SILVA, F.L.H.; MADRUGA, M.S.; SANTANA, D.P, APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO FATORIAL E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA. *Química Nova*, v.31, n.5, p.1073-1077, 2008.

SILVA, M. A. S. MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS NA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS GEOESPACIAIS MULTIVARIADOS. 2005. 117f. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Ciências Espaciais. INCP. São José dos Campos, 2005.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. BIODIESEL: O ÔNUS E O BÔNUS DE PRODUZIR COMBUSTÍVEL. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS., v.38, n.3, p. 843 – 851, maio/junho, 2008.

SOARES, L. H. B.; ARAÚJO, E. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMPARADA DAS ÚLTIMAS CULTURAS DO GIRASOL E SOJA, COM APTIDÃO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL. *Circular Técnica*, EMBRAPA. ISSN 1519 – 7328. Seropédica, RJ, outubro, 2008.

SOUZA, C. D. R.; CHAAR, J. S.; SOUZA, R. C. R.; JEFFREYS, M. F.; SOUZA, K. S.; COSTA, E. J. C.; SANTOS, J. C.; CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS MISTURAS BINÁRIAS DE BIODIESEL E DIESEL COMERCIALIZADOS NO AMAZONAS. *ACTA – AMAZONICA*, p.384 vol. 39(2) 2009: 383 – 388.

SPACINO, K.; SILVA, H.; ANGILELLI, K.; SILVA, E.; MOREIRA, I.; MESQUITA, M.; BORSATO, D. USING SELF-ORGANIZING MAPS AS A CHEMOMETRIC TOOL FOR ALCOHOL CLASSIFICATION BY DISTILLERY. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2013, 8(1): 1-11.

STATISTICA. Graphics software. TULSA: STATISTICA FOR WINDOWS, v. 9, 2009.

TEIXEIRA, M. C.; TAOUIL, D. S. G. BIODIESEL: UMA ENERGIA ALTERNATIVA E VERDE. VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 3, p. 17-40, 2010.

TOKUTAKA, H.; YOSHIHARA, K.; FUJIMURA, K.; OBU-CANN, K.; IWAMOTO, APPLICATION OF SELF-ORGANIZING MAPS TO CHEMICAL ANALYSIS. Applied Surface Science, v.144-145, p.59-63, 1999.

TRIGUEIRO, I. N. S.; PENTEADO, M. V. C. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E ESTADO DE OXIDAÇÃO DE ÓLEOS DE DENDÊ BRASILEIROS. B. CEPPA, v. 11, n. 2, pg. 103 – 112. Curitiba – PR, jul./dez. 1993.

VERDINI, R. A.; ZORRILLA, S. E.; RUBIOLO, A. C.; NAKAI, S. MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS FOR PORT SALUT ARGENTINO CHEESE ANALYSIS BASED ON RIPENING TIME CONDITIONS, AND SAMPLING SITES. Chemometrics and intelligent laboratory systems, v.86, p.60-67, 2007.

ZANATA, D. R. P. DESENVOLVIMENTO DE SENSOR VIRTUAL EMPREGANDO REDES NEURAIIS PARA MEDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO EM UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO. 2005. 229 p. Dissertação (Mestrado) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, São Paulo, 2005.