



ANÁLISE DE REDES PARA PROSPECÇÃO DE INDICADORES DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL

Mario Mollo Neto¹, Etevaldo Francisco Carreira Junior², Oswaldo Egydio Gonçalves Junior², Simone Maria Viana Romano² & Valdir Morales²

RESUMO: A escassez de combustíveis fósseis prevista pelo mercado incentivou a busca de substitutos para os derivados de petróleo. Esta busca resultou em um combustível alternativo denominado "biodiesel". Esta pesquisa buscou indicadores para modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira de biodiesel. Foram utilizadas técnicas gráficas de modelagem baseadas em análise de redes obtendo assim indicadores com os quais são construídos modelos e tendências. Os resultados permitem observar que há um significativo aumento nas produções por região. Os indicadores de densidade e centralidade permitiram inferir que a pesquisa baseada na teoria de análise de redes ajudou a criar modelos matemáticos com boa aproximação dos resultados que podem permitir prever a variação dos indicadores da evolução da capacidade instalada de produção brasileira, elencados para os meses subsequentes, gerando uma conveniente ferramenta de gestão para curto e médio prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustível, teoria dos grafos, energia alternativa.

NETWORK ANALYSIS TO EXPLORE THE INDICATORS OF BIODIESEL PRODUCTION IN BRAZIL

ABSTRACT: The scarcity of fossil fuels expected by the market encouraged the search for petroleum substitutes. One substitute is an alternative fuel called "biodiesel". This research sought indicators to model the evolution of its productivity installed capacity in Brazil. Thus, graphical modeling-based network analysis techniques were used to obtain indicators which built models and trends. The results allow us to observe that there is a significant increase in production in each region. Indicators of density and centrality allowed us to infer that the research based on the theory of network analysis helped to create mathematical models with good approximation of the results that may enable prediction of the evolution of Brazilian biodiesel production capacity for subsequent months. Therefore, a convenient management tool for short and medium term.

KEYWORDS: Biofuel, graph theory, alternative energy.

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande preocupação com o esgotamento das reservas de petróleo e a manutenção do equilíbrio ambiental, muito se tem investido nas pesquisas de combustíveis alternativos, procurando torná-los economicamente viáveis, sendo um deles, o biodiesel (BONOMETO et al. 2010).

Para a PETROBRAS (2012), o uso de biocombustível possui muitas vantagens ambientais, como a menor geração de partículas poluentes e a diminuição das emissões de gás carbônico.

O Biodiesel é uma energia alternativa aos combustíveis tradicionais como o gasóleo, que é um derivado da destilação do petróleo bruto usado como combustível nos motores Diesel, constituído basicamente por hidrocarbonetos, que não são renováveis (KNOTHE et al. 2006).

No Brasil, já vigora uma lei do governo que estabeleceu inicialmente o uso de misturas de 2% de biodiesel no diesel de petróleo até o ano de 2008 (Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005). Essa mesma lei impôs a alteração desta proporção para 5% vigorando a partir de 2010. Esta estratégia tem a vantagem de reduzir as emissões dos veículos, sem alterações em motores a diesel (PINTO et al., 2005).

No trabalho de Carvalho Filho et al. (2013), há o destaque de que dentre as vantagens do uso do biodiesel,

¹Universidade Estadual Paulista. Departamento de Engenharia de Biosistemas, Campus Experimental de Tupã. E-mail: mariomollo@tupa.unesp.br

²Universidade Paulista - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP). Campus Indianópolis.

pode-se citar a redução de 40% de fuligem nas emissões, além de contribuir para uma melhor lubrificação dos motores.

Nesta pesquisa, optou-se por buscar indicadores para modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira com suporte da aplicação de técnicas gráficas de modelagem baseadas em análise de redes obtendo assim indicadores estruturais com os quais podem ser construídos modelos e tendências que permitam aos gestores suporte a decisão com o objetivo de modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira de biodiesel e com isso gerar um rol de indicadores alternativos.

Para determinar indicadores alternativos para modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira, prospectou-se a literatura de forma a compreender o cenário que envolve, inicialmente, o produto Biodiesel em si, os números do acompanhamento histórico e as atuais capacidades instaladas da produção nacional e sua distribuição territorial, a rede de relacionamentos que compreende a cadeia produtiva e buscar indicadores que também nos permitam realizar a modelagem proposta. O modelo do Brasil já serve de referência para outros países (NASS, 2007).

Biodiesel

De acordo com a pesquisa realizada por Pinto et al., (2005), a escassez de combustíveis fósseis prevista pelo mercado, incentivou a busca de substitutos para os derivados de petróleo. Esta busca resultou em um combustível alternativo denominado "biodiesel".

Bonometo et al. (2010) reforçam dizendo em sua pesquisa que o biodiesel é um combustível que possui um processo de combustão com menos emissão de gases poluentes e que pode ser obtido a partir de fontes renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras animais. Dizem também que um dos processos de obtenção do biodiesel é a transesterificação, processo que consiste na reação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, e um catalisador. A reação gera o biodiesel e, como subproduto, a glicerina. Este combustível surge como uma alternativa à dependência do diesel de petróleo.

Mais especificamente, o biodiesel é um combustível obtido a partir de uma mistura reacional contendo de 80 a 90% (em massa) de óleo vegetal ou gordura animal, de 10 a 20% de álcool etílico ou metílico e de 0,35 a 1,5% em massa de catalisador (processo denominado transesterificação). Este processo rende como produtos o glicerol e o biodiesel, sendo este último uma mistura contendo os respectivos ésteres etílicos ou metílicos dos ácidos graxos que compunham, com o glicerol, os ésteres presentes nas gorduras empregadas como reagentes (FERRARI et al., 2005).

Pinto et al., (2005), destacam que, atualmente, a produção de biodiesel no Brasil ocorre, principalmente, em escala experimental com plantas de pequena capacidade (até 1.000 t ano⁻¹). No entanto, as unidades de escala média de ca. 5.000 t ano⁻¹ (peso molecular

proveniente do processo de transesterificação) e, de alta capacidade, até 30.000 t ano⁻¹, estão sendo construídas.

Apontam Dessoy e Vital (2013), ilustrando esta afirmação que, o biodiesel surge, por exemplo, na região Nordeste do país com uma proposta que se baseia em duas rotas tecnológicas: a da mamona, com ênfase na agricultura familiar, e a da soja, tradicionalmente associada ao agronegócio no Centro-Sul, no Centro-Oeste do país e do Cerrado nordestino.

Levando em consideração a pesquisa realizada para a otimização da cadeia produtiva realizada por Leão et al. (2011), o Programa Brasileiro de Biodiesel tem oito para nove anos de idade e cresceu a ponto de colocar o país como um dos principais produtores e consumidores de biodiesel do mundo.

Os mesmos autores afirmam que o governo federal, ainda, criou o Selo Combustível Social (SCS), em que os produtores de biodiesel industriais concordam em comprar cotas mínimas de matérias-primas de pequenos agricultores, promovendo assim inclusão social. Com o SCS, estas empresas podem participar de leilões de biodiesel fechados, como citam Dessoy e Vital (2013) em sua pesquisa, dizendo que os leilões destinados à aquisição do óleo de mamona para o biodiesel são feitos pela ANP desde o lançamento do PNPB, e ajudam também as empresas a receber significativas isenções fiscais.

Segundo informação do Ministério da Agricultura, o biodiesel puro, à base de soja, é capaz de concorrer com o preço de 60 US\$/barril de petróleo. A mamona - com 705 litros/ha - e a palmeira de dendê com 5.000 litros/ha - têm um rendimento muito maior do que a soja, com rendimento de 400 litros/ha (KOVAC, S. e ZIMMER, 2012).

A análise da produção feita por Kohlhepp (2010), no que se refere à sustentabilidade na produção de biodiesel, aponta para o fato de que há certas reservas do ponto de vista ecológico e social quanto ao uso da soja como matéria-prima: plantio de monoculturas por latifundiários, concentração de propriedades e opressão maciça contra pequenos produtores e inúmeros conflitos de terra, uso exagerado de agroquímicos e consequente contaminação da água, alta mecanização e pouca demanda de mão de obra (2 trabalhadores/100 ha), bem como competição pelo uso do solo com os produtores de gêneros alimentícios básicos. Focando o impacto ambiental, o mesmo autor complementa afirmando que do ponto de vista positivo do meio ambiente, o uso do biodiesel apresenta diminuição de monóxido de carbono em 48% e 67% de hidrogênio carburado.

Capacidade instalada de produção de biodiesel no Brasil

Com relação à capacidade instalada, o Brasil possui um total de 65 usinas autorizadas a operar na produção de biodiesel, com capacidade anual de 3.878.697m³ ano⁻¹, ou seja, pouco mais de 3,8 bilhões de litros segundo a Agência Nacional de Petróleo (BRASIL, 2009).

Para a pesquisa de Nachiluk e Freitas (2009), a capacidade instalada para produção de biodiesel está distribuída da seguinte forma nas Regiões brasileiras: Centro-Oeste possui a maior capacidade instalada 1.642.283m³ ano⁻¹ distribuída em 30 usinas; Sudeste, com 16 usinas, produz 769.390m³ ano⁻¹; Sul, 727.802m³ ano⁻¹ e 7 usinas; Nordeste, com 8 instalações, tem capacidade para produzir 698.904m³ ano⁻¹; e Norte, com 4 usinas juntas, pode produzir 40.320m³ ano⁻¹.

Dados do Ministério de Minas e Energia em Brasil (2012), com base nas entregas dos leilões promovidos pela Agência Nacional de Petróleo - ANP mostram que a produção estimada para agosto de 2012 foi de 252 mil m³.

No acumulado do ano, acrescido da estimativa para agosto, a produção atingiu 1.699 mil m³, um decréscimo de 3% em relação ao mesmo período de 2011 (1.747 mil m³). A capacidade instalada, em agosto de 2012, ficou em 6.665 mil m³ ano⁻¹ (555 mil m³ mês⁻¹). Dessa capacidade, 81% são referentes às empresas detentoras do Selo Combustível Social.

Redes de relacionamentos

Em uma rede de relacionamentos, tal qual as de trocas ocorridas entre os produtores de biodiesel e a sua contribuição para o País, que é o caso desta pesquisa, segundo Lazzarini (2008), é um conjunto de empresas, identificadas como nós ou atores, ligadas por meio de relações denominadas também como laços.

Uma rede é constituída de agentes que têm relações entre si, sendo que estas podem ser estabelecidas direta ou indiretamente e, os agentes podem formar arranjos produtivos locais ou podem estar inseridos em uma mesma organização e serem analisados por meio de suas relações, seja por ligações tangíveis ou intangíveis em sua produção (VILLELA e PINTO, 2009).

Como em uma construção matemática, um grafo pode ser construído para a análise de redes e o mesmo consiste de dois tipos de elementos: nodos e conexões. Numa linha geral os nodos (ou nós) são utilizados para representar as entidades do problema e, as conexões são utilizadas para a representação dos relacionamentos entre as entidades. Destes são abstraídas as matrizes relacionais para a análise quantitativa.

Segundo os pesquisadores de análise de redes Wasserman e Faust (1994), existe uma série de conceitos-chave que são essenciais para a discussão da análise de redes, que são:

Rede — conjunto finito de atores e as relações entre eles;

Relação — coleção de laços de um tipo específico entre os membros de um grupo;

Ator — são as entidades (indivíduos, organizações ou países) objetos de estudo na análise de redes;

Laço relacional — definido como a ligação estabelecida entre o par de atores.

Os mesmos autores Wasserman e Faust (1994) definem, ainda que os métodos relacionados à análise de redes podem ser agrupados em propriedades estruturais, como as medidas de centralidade, densidade, transitividade e coesão; papéis e posições, como a análise de equivalência estrutural, regular e local e a análise de *clusters*.

A análise de redes, por seu turno, utiliza técnicas que têm particularidades devido ao fato do foco das pesquisas serem direcionados às ligações entre os atores, e não seus atributos. Exemplos de tais técnicas são os denominados estudos centrados no ego e os estudos das redes denominadas *small-worlds*, que analisam a distância entre os atores em uma rede social (WASSERMAN e FAUST, 1994).

Há estudos que associam às redes *small-worlds* características tanto de redes aleatórias, como sendo o caminho mais curto entre atores, quanto de redes estruturadas, como um alto grau de agrupamento (WATTS e STROGATZ, 1998).

A abordagem relacional enfoca as conexões diretas e indiretas entre os atores, buscando entender comportamentos e processos por meio da conectividade entre eles. Para tanto, são utilizados principalmente dois grupos de medidas: “centralidade e prestígio” e “coesão social” (EMIRBAYER e GOODWIN, 1994).

Nesta pesquisa, são utilizados os indicadores estruturais de centralidade e densidade da rede levantada para o desenvolvimento dos estudos nos termos indicados por Emirbayer e Goodwin (1994) e Wasserman e Faust (1994). Com base nisto observam-se as definições apresentadas pela literatura do tema. Outras pesquisas semelhantes aplicando estas técnicas aqui elencadas já foram realizadas por (NÄÄS et al., 2011).

Um ator é localmente central, se ele apresenta grande número de conexões com outros pontos; será globalmente central, se possuir posição significativamente estratégica na rede como um todo (SCOTT, 2000).

A centralidade de grau é medida pelo número de laços que um ator possui com outros atores em uma rede (WASSERMAN e FAUST, 1994).

Segundo o Manual Introdutório à Análise de Redes Sociais de Velásquez e Aguilar (2011), o grau de centralidade é composto do grau de centralidade de entrada e do grau de centralidade de saída, e estes dependem da direção do fluxo da relação.

A soma das relações que um ator tem com outros atores representa o grau de centralidade de saída e, a soma que os outros atores têm com um determinado ator é o grau de centralidade de entrada.

Segundo Lazzarini (2008), “Uma rede é densa quando vários atores estão conectados entre si”, ou seja, quanto maior o número de conexões estabelecidas entre os atores, maior a densidade da rede. Uma densidade baixa obtida dos relacionamentos existentes entre os atores da

rede permite identificar um sistema muito flexível, ou seja, onde pouco poder de influência mútua é exercido entre os atores e, este poder é entendido como sendo, segundo o método proposto por Hanneman e Riddle (2005), "... a abordagem de rede enfatiza que o poder é inerentemente relacional." Ainda de acordo com os mesmos autores: "É uma consequência dos padrões de relações...".

A densidade influi no fluxo de informações e recursos e, este fluxo nos remete à troca de bens, serviços, recursos e contatos na rede (FAVA e SACOMANO NETO, 2007).

Geralmente no caso dos *softwares* disponíveis para a análise de redes, os dados são fornecidos através de matrizes relacionais (sócio matrizes na linguagem dos sociólogos), que podem ser exibidas através de grafos (MOLLO NETO, 2011). A visualização gráfica por si só pode oferecer novas informações e *insights* para pesquisadores (WASSERMAN e FAUST, 1994; IACOBUCCI, 1994).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, os trabalhos foram norteados, inicialmente, com uma prospecção bibliográfica, da qual foram obtidos os dados para os estudos.

Os dados foram coletados de artigos científicos e de relatórios do Ministério de Minas e Energia agrupados em Brasil (2012). Os mesmos foram organizados em planilhas Excel, sendo assim gerada a tabela de capacidade de produção mensal no período de março de 2011 a setembro de 2012 (Tabela 1). Esta tabela alimentou a construção de arquivos de banco de dados (.vna) para uso do *software* ferramenta Ucinet®, segundo orientações obtidas de (BORGATTI et al., 1999).

O processamento deste banco de dados permitiu a obtenção dos indicadores estruturais baseados na matriz relacional estabelecida entre as unidades produtoras por região e o completo território nacional. Os indicadores foram selecionados e tabulados, mês a mês no mesmo período.

Nesta pesquisa, são utilizados os indicadores estruturais de centralidade e densidade da rede levantada para o desenvolvimento dos estudos. Com base nisto observam-se as definições e as equações apresentadas pela literatura do tema.

O dimensionamento das centralidades de acordo com as indicações de Emirbayer e Goodwin, (1994), obedeceu, no *software*, a aplicação da equação 1 a seguir:

$$C_G(V_k) = \sum_j^n = 1 W_{kj} \quad (1)$$

Onde:

C_G = Grau de centralidade;

v_k = Nó da rede a ser considerado;

j = Número de nós;

w_{kj} = Número de nós adjacentes;

e, $w_{kj}=1$ se existe link entre nós v_k e v_j .

O valor da medida da densidade é obtido a partir do número de laços observados dividido pelo número máximo de laços que a rede pode ter. Segundo procedimentos utilizados por Borgatti et al., (1999) e de acordo com as indicações de Emirbayer e Goodwin, (1994), o procedimento para o cálculo do número de laços máximos em uma rede é dado pela aplicação das Equações 2 e 3:

Inicialmente, com base no número de atores componentes da rede, se obtém pela Equação 2, o número de laços máximos entre os atores componentes da rede:

$$[N_a \times (N_a - 1)] / 2 \quad (2)$$

Onde:

N_a = número de atores da rede.

Obtido este valor, a densidade pode ser calculada por meio da Equação 3:

$$(NL \text{ da rede} / NL \text{ máximos na rede}). \quad (3)$$

Onde:

NL = número de laços.

De posse destes indicadores foram construídos os gráficos das densidades e dos graus de centralidade de entrada (*indegree*) e saída (*outdegree*) das unidades produtoras. Destes gráficos foram obtidas as linhas de tendências correspondentes aos indicadores, e destas, foram construídas as equações dos modelos matemáticos que as representam.

Segundo a análise proposta por Bastter (2012), a linha de tendência é uma linha formada por mínimos relativos consecutivos ou por máximos relativos consecutivos.

Para a validação dos modelos buscou-se a determinação da estrutura dos mesmos, que foi realizada a partir do conjunto de modelos candidatos, com base no conhecimento identificado.

Assim, consideraram-se informações necessárias para a seleção do conjunto de regressores para que a técnica de identificação adotada fosse linear.

Uma vez parametrizados os modelos, procurou-se qualificar o modelo estimado utilizando técnicas de validação de modelos. Entre as diversas técnicas de validação optou-se utilizar a comparação das respostas do sistema real com a do modelo estimado.

Os índices de desempenho para avaliação dos modelos matemáticos foram calculados pela equação 4 apresentada a seguir, que é o Coeficiente de Correlação Múltipla (R^2), ou o coeficiente de determinação:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N [y(k) - z(k)]^2}{\sum_{k=1}^N [y(k) - \bar{y}]^2} \quad (4)$$

Onde:

$y(k)$ é a saída real, $z(k)$ é a saída estimada, \bar{y} é a média das N amostras da experimentação. Quando o valor de R^2 é igual a 1 (um) indica uma exata adequação do modelo para os dados medidos do processo.

Optou-se pela utilização de linhas de tendência lineares, porque, embora as funções polinomiais representassem melhor os dados no período estudado, as pequenas variações mensais levavam a mudanças bruscas de tendências, enquanto a função linear, ainda que apresentando R^2 menos próximo de 1 (um), permite visualizar uma melhor projeção para o futuro.

Em estatística, o coeficiente de determinação R^2 é usado no contexto de modelos estatísticos, cujo principal objetivo é a previsão de resultados futuros com base em outras informações relacionadas.

O valor de R^2 é mais frequentemente visto como um número entre 0 (zero) e 1 (um), usado para descrever o quão bem uma linha de tendência, ou regressão, encaixa em um conjunto de dados.

Um R^2 perto de 1,0 indica que a linha de regressão ajusta-se bem aos dados, enquanto que um R^2 mais próximo de 0 (zero) indica uma linha de regressão que não se encaixa muito bem aos dados.

Isto indica a proporção da variabilidade de um conjunto de dados que é responsável pelo modelo estatístico.

Este valor proporciona uma medida de quão bem os resultados futuros são susceptíveis de serem previstos pelo modelo obtido da linha de tendência.

As projeções futuras foram realizadas como descrito e posteriormente foi realizada a comparação dos resultados obtidos com os dados reais fornecidos no boletim DCR do mês de Outubro de 2012 do Ministério de Minas e Energia em Brasil (2012).

Esta comparação permitiu averiguar o porcentual das diferenças obtidas (desvios) que representam a adequação dos modelos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, da coleta de dados obtidos de prospecção de relatórios do Ministério de Minas e Energia em Brasil (2012), foi construída a Tabela 1.

Após a entrada de dados de produção mensal obtidos do levantamento, foram processados os dados dos atores no *software* Ucinet®, representados pelos valores obtidos dos relatórios, e seus relacionamentos, com isto, montou-se um arquivo (.vna) configurado a ser utilizado no *software* (BORGATTI et al., 1999).

As redes consideradas, mês a mês, para a determinação dos indicadores, foram construídas com base nos atores produtores e, o ator central da rede que é o Brasil.

Tabela 1 - Tabela de capacidade de produção mensal de março de 2011 a setembro de 2012 em mil m³/ano.

Mês/Ano	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Mar/11	193	41	2030	1101	1544
Jul/11	193	41	2252	1101	1544
Ago/11	193	41	2395	1155	1544
Set/11	193	41	2395	1144	1534
Out/11	218	41	2395	1144	1534
Nov/11	205	41	2395	1144	1534
Dez/11	205	41	2395	1144	1534
Jan/12	205	741	2395	1144	1534
Fev/12	205	741	2395	1143	1624
Mar/12	205	741	2547	1143	1494
Abr/12	205	741	2547	1143	1494
Mai/12	205	741	2547	1143	1624
Jun/12	205	741	2676	846	1624
Jul/12	202	741	2676	846	1624
Ago/12	202	741	2928	846	1624
Set/12	202	741	2928	846	1948

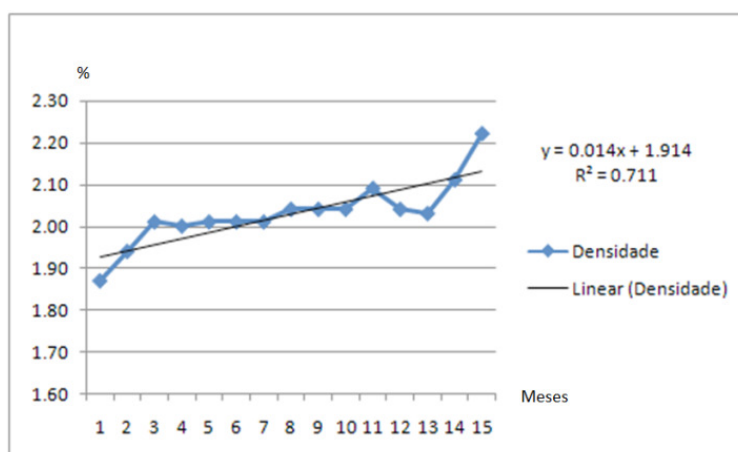
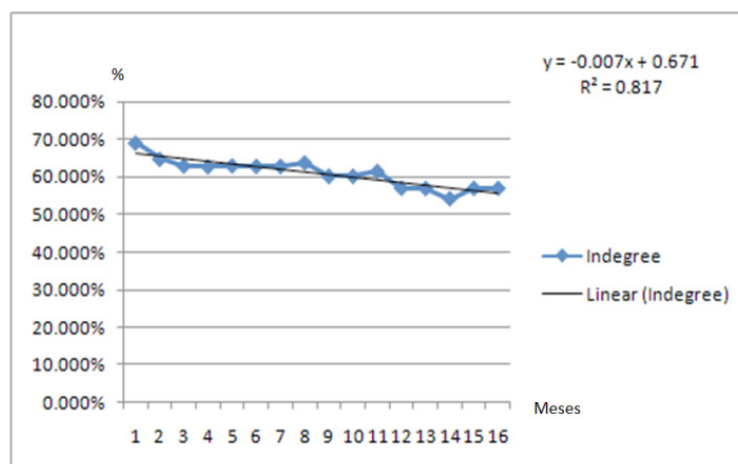
Como resultado, foi construída a Tabela 2, com os indicadores estruturais de densidade e centralidade obtidos do processamento no *software* Ucinet®:

Tabela 2 - Indicadores estruturais selecionados.

Mês/Ano	Densidade (%)	Centralidade de saída:(%)	Centralidade de entrada:(%)
Mar/11	1,87	16,18	69,07
Jul/11	1,94	17,05	64,73
Ago/11	2,01	17,41	62,92
Set/11	2,00	17,45	62,70
Out/11	2,01	17,40	62,96
Nov/11	2,01	17,43	62,82
Dez/11	2,01	17,43	62,82
Jan/12	2,01	17,43	62,82
Fev/12	2,04	17,24	63,75
Mar/12	2,04	17,96	60,16
Abr/12	2,04	17,96	60,16
Mai/12	2,09	17,71%	61,44
Jun/12	2,03	18,61%	56,91
Jul/12	2,03	18,62%	56,88
Ago/12	2,11	19,17%	54,14
Set/12	2,22	18,61%	56,90

Fonte: Obtida do processamento dos dados no *Software Ucinet*[®]. Processados e obtidos conforme (BORGATTI *et al.*, 1999).

Com base nos dados desta tabela, foram construídos os gráficos correspondentes à evolução dos indicadores estruturais das Figuras 1, 2 e 3.

**Figura 1** – Evolução dos indicadores estruturais das densidades.**Figura 2** – Evolução dos indicadores estruturais dos graus de centralidade de entrada.

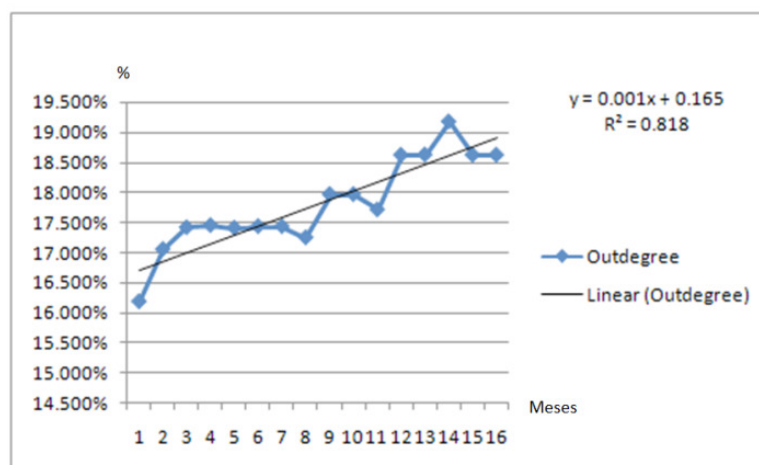


Figura 3 – Evolução dos indicadores estruturais dos graus de centralidade de saída.

Finalmente, foram obtidos os modelos matemáticos (equações) que representam os indicadores estruturais que vão permitir a previsão de resultados futuros, com base em outras informações relacionadas.

Os modelos são apresentados nas equações 5 (para a densidade da rede), 6 (para a centralidade de grau de entrada da rede) e 7 (para a centralidade de grau de saída da rede) a seguir:

$$y1 = (0,014 * x) + 1,914 \quad (5)$$

Coeficiente de Correlação Múltipla $R^2 = 0,711$

$$y2 = (0,007 * x) + 0,671 \quad (6)$$

Coeficiente de Correlação Múltipla $R^2 = 0,817$

$$y3 = (0,001 * x) - 0,165 \quad (7)$$

Coeficiente de Correlação Múltipla $R^2 = 0,818$

A Tabela 3 apresenta os valores estimados pelos modelos matemáticos obtidos em comparação com os valores do processamento dos dados dos valores reais publicados no boletim 57 do DCR do mês de Outubro de 2012 do Ministério de Minas e Energia em Brasil (2012) com o *software* ferramenta Ucinet[®]. A tabela apresenta ainda o percentual das diferenças obtidas que apontam para a adequação dos modelos.

O cálculo do desvio dos resultados obtidos foi realizado segundo a equação 8 a seguir:

$$\text{Desvio} = (Ve - Vr) / Vr \quad (8)$$

Onde:

Ve = Valor Estimado;

Vr = Valor Real.

Tabela 3 - Comparação entre os valores estimados pelos modelos e os valores reais obtidos pela pesquisa.

Indicadores estruturais	Valores estimados pelos modelos (%)	Valores reais obtidos em levantamento (%)	Desvio (%)
Densidades	2,15	2,22	3,15
Centralidade de entrada (<i>indegree</i>)	55,2	56,91	3,00
Centralidade de saída (<i>outdegree</i>)	18,20	18,62	2,26

A título de discussão, observando-se os dados coletados e os resultados dos processamentos realizados, inicialmente, foi possível observar que, conforme destacou a Agência Nacional de Petróleo (BRASIL, 2009), a capacidade instalada anual no período de coleta de dados de sua pesquisa foi igual a 3.878.697 m³ano⁻¹ e, o Ministério das Minas e Energia (BRASIL, 2012), afirmando que a capacidade instalada anual, apurada

neste período de 2012, foi igual a 6.665.000 m³ano⁻¹, temos valores dos quais foi possível inferir que, no período de três anos, a capacidade instalada anual do Brasil ampliou-se em 71,8 %. De outro lado, precisa ser repensada em nosso país a sustentabilidade, destacada por (MOLLO NETO et al., 2010).

Esta ampliação permite dar destaque ao crescimento do Programa Brasileiro de Biodiesel, o que vai diretamente de encontro à pesquisa de otimização da cadeia produtiva de Leão et al. (2011), o que reforça também a ideia que é mais significativa a participação do Brasil entre os principais produtores e consumidores de biodiesel do mundo.

Da mesma forma, isto impacta também a redução das emissões de dióxido de carbono e de hidrogênio carburado, reforçando resultados das pesquisas realizadas por Pinto (2005), o Ministério das Minas e Energia - MMA em Brasil (2011) e a análise da situação da produção feita por Kohlepp (2010) com ponto de vista positivo para meio ambiente, com boa redução do impacto ambiental correspondente à sua aplicação em substituição aos derivados da destilação do petróleo bruto que é usado como combustível nos motores Diesel, constituído basicamente por hidrocarbonetos, que não são renováveis, segundo (KNOTHE et al. 2006).

De acordo com Monteiro (2013), além do problema de produtividade e aumento do custo de produção do setor de biocombustíveis, especialistas apontam que a política de controle do preço da gasolina foi um dos principais fatores do desequilíbrio entre esse combustível e o biocombustível. A autora alerta ainda, que sem uma política clara que defina a participação do etanol na matriz energética brasileira e o seu custo relativo em relação ao combustível fóssil, corre-se o risco do setor não garantir os investimentos necessários para a ampliação da capacidade de processamento, fato este que poderá aumentar ainda mais a crise instalada.

Na busca por ferramentas alternativas às tradicionais para modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira, foi feita a aplicação de técnicas gráficas de modelagem baseadas em análise de redes segundo as prescrições de Iacobucci (1994) e Wasserman e Faust (1994). Quando da aplicação das técnicas, observou-se que foi possível modelar os agentes considerando as relações entre si como descrevem Villela e Pinto (2009).

Considerando ainda as conexões diretas entre os atores com a abordagem relacional, foi possível trabalhar com o grupo de medidas de centralidade e coesão social exatamente como indicado nas pesquisas realizadas por Emirbayer e Goodwin (1994) obtendo assim indicadores estruturais convenientes para o presente estudo.

Os dados foram convertidos para a forma de matrizes relacionais (sócio matrizes), e isto permitiu gerar as visualizações dos grafos correspondentes aos períodos em estudo. Os sócios matrizes e a visualização gráfica foram construídas com base nas prescrições dos pesquisadores Iacobucci (1994) e Wasserman e Faust (1994) como citado anteriormente e segundo orientações de Richardson (2009).

A análise destes resultados, obtidos dos processamentos dos sócios matrizes, aponta para uma rede cuja densidade é baixa, porém, apresentando uma tendência

de crescimento, o que representa, segundo a citação de Lazzarini (2008), a identificação de um sistema muito flexível, onde pouco poder de influência mútua é exercido entre os atores. Como a densidade obtida é baixa, observa-se, como indicam Fava e Sacomano (2007), que provavelmente há baixa troca de informações e recursos entre os componentes desta rede em estudo, onde há certamente baixa influência entre os atores.

Estes pontos podem ser diretamente abordados para incrementar os resultados da produção e capacidade instalada.

No caso dos valores obtidos das centralidades, observa-se que, o ator da rede que possui posição mais estratégica na rede como um todo, segundo as considerações de Scott (2000), é o Brasil, representando o consumidor de toda a produção gerada pelos demais atores da rede e, a centralidade de cada um dos demais atores, varia de maneira diretamente proporcional à sua participação na capacidade instalada e dos investimentos que nela são realizados.

Os autores Velásquez e Aguilar (2005) destacam que a soma das relações que um ator tem com outros atores representa o grau de centralidade de saída e, a soma que os outros atores têm com um determinado ator é o grau de centralidade de entrada. Considerando esta declaração, podemos inferir que, como os resultados de centralidade de grau de saída (*outdegree*) tem se apresentado tendência de crescimento, apontando para um aumento da capacidade de produção por região para abastecimento do país.

Já a centralidade de grau de entrada (*indegree*) que apresenta tendência de queda, aponta para o fato que, há pouca incidência de trocas de informações entre os participantes da cadeia que produzem o biodiesel, ou como destacam os autores Hanneman e Riddle (2005), que apontam para pouca influência mútua, sendo que de maneira quase independente, fornecem sua produção para o ator mais central que é no caso o Brasil. Ainda, observa-se, na presente pesquisa que, não foram considerados os *links* que representam o retorno dos consumidores para as regiões produtoras, fato este que deverá ser considerado para prospecções futuras para a complementação da pesquisa.

Os resultados obtidos permitem, ainda, observar que com o crescimento da densidade da rede estudada, pode-se inferir uma tendência de maior organização na cadeia como um todo e maior sustentabilidade da produção, ou seja, há sinalização de melhoria crescente para este indicador.

Com base nos resultados de visualização dos grafos e do processamento dos sócios matrizes, foi possível dimensionarem-se os gráficos com a distribuição dos indicadores para os quais foram construídas as linhas de tendências correspondentes aos mesmos, e destas, foram construídas as equações dos modelos matemáticos que as

representam (WAKER e MOLLO NETO, 2012; MOLLO NETO e WAKER, 2011).

Os modelos matemáticos foram aplicados e foi feita a validação dos modelos onde se buscou a determinação da estrutura dos mesmos, realizada a partir do conjunto de modelos candidatos, com base no conhecimento identificado. Uma vez parametrizados os modelos, qualificaram-se os modelos estimados utilizando técnicas de validação de modelos.

Optou-se por utilizar a comparação das respostas do sistema real com a do modelo estimado. As projeções futuras foram realizadas mediante esta comparação dos resultados obtidos com os dados reais fornecidos no boletim DCR do mês de Outubro de 2012 do Ministério de Minas e Energia em Brasil (2012), fato este que permitiu averiguar o percentual das diferenças obtidas (desvios) que ficaram em torno de 3%, que representam uma boa adequação dos modelos construídos.

4 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e concessão da bolsa.

5 CONCLUSÕES

- ✓ Com a prospecção bibliográfica realizada foi possível compreender o cenário que envolve, inicialmente, o produto Biodiesel em si, os números do acompanhamento histórico e as atuais capacidades instaladas da produção nacional e sua distribuição territorial;
- ✓ Como esta pesquisa buscou encontrar indicadores para modelar a evolução da capacidade instalada de produção brasileira obtida por meio dos indicadores estruturais, baseados na matriz relacional estabelecida entre as unidades produtoras por região e o completo território nacional, com a aplicação de técnicas gráficas de modelagem baseadas em análise de redes, foi possível obter-se os grafos que representam a estrutura da rede e, a posteriori calcular, com a aplicação para o processamento dos dados na ferramenta de software Ucinet®, os indicadores estruturais de densidades e centralidades de grau de entrada e centralidades de grau de saída;
- ✓ Os resultados obtidos com estes indicadores de densidade e centralidade permitiram observar que a pesquisa baseada na teoria de análise de redes ajudou a criar modelos matemáticos com boa aproximação dos resultados que podem permitir prever a variação dos indicadores da evolução da capacidade instalada de produção brasileira, elencados para os meses subsequentes, gerando uma conveniente ferramenta de gestão para curto e médio prazo.

6 REFERÊNCIAS

BASTTER. Análise técnica: linhas de tendência. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.bastter.com/Mercado/Aprendizado/entendendo-o-mercado/analise-tecnica/linhas-de-tendencia.aspx>>. Acesso em: 6 nov. 2012.

BONOMETO, R. P.; JUSTI, A. L.; BUCHI, A. T.; SAGLIETTI, J. R. Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir de óleo de frango. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 130-140, 2010.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. **Ucinet for Windows: software for social network analysis**. Harvard: Analytic Technologies, 1999. Disponível em: <<http://www.analytictech.com/training.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira: Exercício 2012. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143612/03+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+Exerc%C3%ADcio+de+2012+%28PDF%29/2c312cd1-ef9b-4140-b467-f5bbd038dda4?version=1.1>>. Acesso em 06 de novembro de 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Agencia Nacional de Petróleo. Capacidade instalada da produção de biodiesel. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=73226>>. Acesso em: 25 nov. 2009.

CARVALHO FILHO, C. A.; CORTEZ, J. W.; SANTOS, V. M. L.; ARCOVERDE, S. N. S.; NAGAHAMA, H. J. Ensaio de um trator agrícola em função da marcha e proporção de biodiesel. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 135-142, 2013.

DESSOY, E. M.; VITAL, T. W. Matérias primas para o biodiesel no estado de Pernambuco: situação recente e perspectivas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p.16-24, 2013.

EMIRBAYER, M.; GOODWIN, J. Network analysis, culture and the problem of agency. **American Journal of Sociology**, Chicago, v. 99, n. 6, p. 1411-1454, May 1994.

FAVA, F. E.; SACOMANO NETO, M. Redes de empresas: utilização do Software Ucinet para a análise das relações entre empresas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15.; MOSTRA ACADÊMICA UNIVERSIDADE METODISTA DE

- PIRACICABA, 5., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Unimep, 2007. Disponível em: <www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/5mostra/1/59.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2011.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. Sociedade Brasileira de Química, **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
- HANNEMAN, R. A.; RIDDLE, M. Introduction to social network methods. Riverside: University of Califórnia, 2005. Disponível em: <<http://www.faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>>. Acesso em: 5 fev. 2011.
- KNOTHE, G., VAN GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Universidade de São Paulo, **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.
- KOVAC, S.; ZIMMER, R. Energiepflanzenbau und Biokraftstoffproduktion in Brasilien Fakten und Meinungen. Unabhängiges Institut für Umweltfragen, Berlin, 2012. Disponível em: <<http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Resourcenschutz/Publikationen/UfU%20Paper%205-12%20Zimmer,%20R%20Kovac,%20S%20Energiepflanzenbau%20in%20Brasilien%20120904.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2014.
- LAZZARINI, S. G. **Empresas em rede**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- LEÃO, R. R. C. C.; HAMACHER S.; OLIVEIRA, F. Optimization of biodiesel supply chains based on small farmers: a case study in Brazil. **Bioresource Technology**, Trivandrum, India, v. 102, n. 19, p. 8958-8963, October 2011. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S096085241100928X/1-s2.0-S096085241100928X-main.pdf?_tid=b736ee76-280f-11e2-a2060000aacb361&acdnat=1352206053_577898c044904de58ebf23f129c14314>. Acesso em: 5 nov. 2012.
- MOLLO NETO, M.; WAKER, R. A. Aplicação de Ferramenta Computacional Baseada em Redes Sociais para Análise de Relacionamentos em Organizações Produtivas. **Ubiquidade**: Revista de estudos sobre as tecnologias de informação e comunicação (TIC), Jundiaí, v. 1, p. 69-78, 2011.
- MOLLO NETO, M.; VENDRAMETTO, O.; WAKER, R. A. Sustainability analysis of ethanol large scale production network in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** (UNICAMP), Campinas, v. 4, p. 1-12, 2010.
- MONTEIRO, S. Modelo em Xequê. **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v.67, n.3, p. 36-39, 2013.
- NÄÄS, I. A.; MOLLO NETO, M.; VENDRAMETTO, O. Comparative analysis of different meat traceability systems using social network approach. In: LOKHORST, C.; BERCKMANS, D. (Org.). **Precision Livestock Farming '11**. Praga: Czech Centre for Science and Society, 2011. v. 1, p. 353-359.
- NACHILUK, K.; FREITAS, S. M. Evolução da capacidade instalada para produção de biodiesel no Brasil e auto abastecimento regional. **Revista Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 4, n. 5, p.1-5, maio 2009.
- NASS, L. L.; PEREIRA, P. A. A.; ELLIS, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 47, n.6, p. 2228-2237, 2007.
- PETROBRÁS. Biocombustível. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/biocombustiveis>>. Acesso em 16 nov. 2012.
- PINTO, A. C. et al. Biodiesel: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 16, n. 6b, p. 1313-1330, 2005.
- RICHARDSON A. J. Regulatory networks for accounting and auditing standards: A social network analysis of Canadian and international standard-setting. **Accounting, Organizations and Society**, Copenhagen, Denmark, v. 34, n.5, p. 571-588, 2009.
- SCOTT, J. **Social network analysis: a handbook**. 2. ed. London: Sage Publications, 2000.
- VELÁSQUEZ, A. O. A.; AGUILAR, G. N. Manual introdutório à análise de redes sociais: medidas de Centralidade: Exemplos práticos com UCINET 6.109 e NetDraw 2.28. 2005. Mexico: Universidad Autonoma del Estado de Mexico, 2005. Disponível em: <http://api.ning.com/files/ib7AWBiWewSRilCmh7sNfwICgobUCA5QiUqiZOSkSh15AhSOE9XhzeVRUr5JXYa pSVS45I5OKOBEjoSvbD-ykrzDOcrBPq7N/Manualintrodutorio_ex_ucinet.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- VILLELA, L. E.; PINTO, M. C. S. Governança e gestão social em redes empresariais: análise de três arranjos produtivos locais (APLs) de confecções no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, São Paulo, v. 43, n. 5, p. 1067-1089, set./out. 2009.
- WAKER, R. A.; MOLLO NETO, M. A Roadmap to Implement People Relationship Management in Organizations. In: Proceedings of the 2012 Industrial and Systems Engineering Research Conference G. Lim and J.W. Herrmann, eds. 2012, Orlando, Florida. Anais... Orlando: Institute of Industrial Engineers, 2012.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**, San Francisco, CA, v. 393, p. 440-442, 06-1998.