

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AMBIENTAL DOS ESTABELECIMENTOS RURAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF RURAL ESTABLISHMENTS IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA AMBIENTAL DE ESTABLECIMIENTOS RURALES EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Raiane Benevides Ferreira¹

Jefferson Andronio Ramundo Staduto²

Área Temática: desenvolvimento econômico regional.

JEL Code : O18

Resumo: Este artigo mostra os resultados preliminares da análise da eficiência ambiental dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro. Foi aplicado o modelo análise envoltória de dados baseado em folgas não radiais e não orientadas para mensurar a eficiência relativa, conhecida como modelo SBM não orientado, sob a suposição de retornos constantes e variáveis à escala. Esse modelo identifica os excessos de insumos e as deficiências de produtos das unidades tomadoras de decisão (DMUs). Para avaliar a eficiência produtiva dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro, utilizou-se como parâmetro as variáveis: área de cultivo, mão de obra empregada, número de tratores, estoque de capital, valor da produção e a emissão de gases do efeito estufa como produto indesejável. A fim de mensurar a eficiência tanto do ponto de vista econômico quando do seu impacto ambiental. Os resultados mostraram, de modo geral, uma baixa eficiência produtiva dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Eficiência; Semiárido brasileiro; Modelo baseado em folgas; Estabelecimentos rurais.

Abstract: This article shows the preliminary results of the analysis of the environmental efficiency of rural establishments in the Brazilian semi-arid region. The data envelopment analysis model based on non-radial and non-oriented gaps was applied to measure relative efficiency, known as the non-oriented SBM model, under the assumption of constant and variable returns to scale. This model identifies excess inputs and product deficiencies in decision-making units (DMUs). To evaluate the productive efficiency of rurais establishments in the Brazilian semi-arid region, the following variables were used as parameters: cultivation area, labor force employed, number of tractors, capital stock, production value and the emission of greenhouse gases as a product. undesirable. In order to measure efficiency both from an economic point of view and its environmental impact. The results showed, in general, a low productive efficiency of rurais establishments in the Brazilian semi-arid region.

Key-words: Efficiency; Brazilian semi-arid; Slack-based model; Rural establishments.

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Brasil; <https://orcid.org/0000-0002-2504-1365>; raianebenevides.ce@gmail.com.

² Professor doutor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, UNIOESTE – Toledo, Brasil; <https://orcid.org/0000-0003-1855-1292>; E-mail: jstaduto@yahoo.com.br.



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Resumen: Este artículo muestra los resultados preliminares del análisis de la eficiencia ambiental de establecimientos rurales en la región semiárida brasileña. Para medir la eficiencia relativa se aplicó el modelo de análisis envolvente de datos basado en brechas no radiales y no orientadas, conocido como modelo SBM no orientado, bajo el supuesto de rendimientos de escala constantes y variables. Este modelo identifica el exceso de insumos y las deficiencias de productos en las unidades de toma de decisiones (DMU). Para evaluar la eficiencia productiva de los establecimientos rurales en la región semiárida brasileña, se utilizaron como parámetros las siguientes variables: área de cultivo, fuerza laboral empleada, número de tractores, stock de capital, valor de la producción y emisión de gases de efecto invernadero como producto indeseable. Con el fin de medir la eficiencia tanto desde el punto de vista económico como de su impacto ambiental. Los resultados mostraron, en general, una baja eficiencia productiva de los establecimientos rurales en la región semiárida brasileña.

Palabras-clave: Eficiencia; Semiárido brasileño; Modelo basado en holgura; Establecimientos rurales.

Introdução

A atividade agrícola desempenha um papel socioeconômico vital para a humanidade, contribuindo para a segurança alimentar, geração de emprego em áreas rurais, geração de divisas, desenvolvimento de atividades turísticas e artesanais, fortalecimento de comunidades e a preservação de atividades tradicionais, entre outras (Pishgar-Komleh; Čechura; Kuzmenko, 2021).

É fundamental avaliar eficiência produtiva e ambiental dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro do ponto de vista econômico e de seu impacto ambiental, em meio a um cenário de emergência climática e no limiar da agenda 2030 em razão de pelo menos dois motivos: a) primeiramente, porque avaliando a eficiência é possível ter uma dimensão da realidade atual e fornecer informações sobre áreas prioritárias para a formulação de políticas públicas que visem melhorar a eficiência agrícola; e b) em segundo lugar, porque aumentar a eficiência pode ser a forma mais econômica de reduzir pressões ambientais, evitar desperdícios de recursos e otimizar processos (Picazo-Tadeo; Gómez-Limón; Martínez, 2011).

A eficiência pode ser medida tanto por métodos paramétricos quanto por não paramétricos. Entre os modelos paramétricos, destacam-se os modelos análise envoltória de dados (DEA) radiais e não radiais. Neste estudo, utilizou-se o modelo DEA não radial baseado nas folgas (*Slacks-Based-Measure* – SBM) com produtos indesejáveis de Cooper, Seiford e Tone (2007), não orientado e com retornos constantes e variáveis de escala.

Introduzida por Tone (2001), a abordagem SBM é uma métrica não-radial para avaliar a eficiência, que lida diretamente com as mudanças de entradas e saídas considerando simultaneamente as folgas da DMU em análise. As folgas representam a diferença entre o excedente de insumos e a escassez de produtos. Além disso, ao trabalhar com o modelo não orientado, é possível capturar melhorias tanto nos insumos quanto nos produtos de maneira mais abrangente.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é mostrar os resultados preliminares da análise da eficiência produtiva e ambiental dos estabelecimentos rurais dos municípios do semiárido brasileiro considerando a produção de produtos indesejáveis.

Procedimentos metodológicos

Para atingir o objetivo proposto, utilizou-se o modelo SBM, que é uma medida baseada em folgas (*slack*). Neste modelo, combina-se indicadores de entradas e saídas desejáveis com indicadores



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

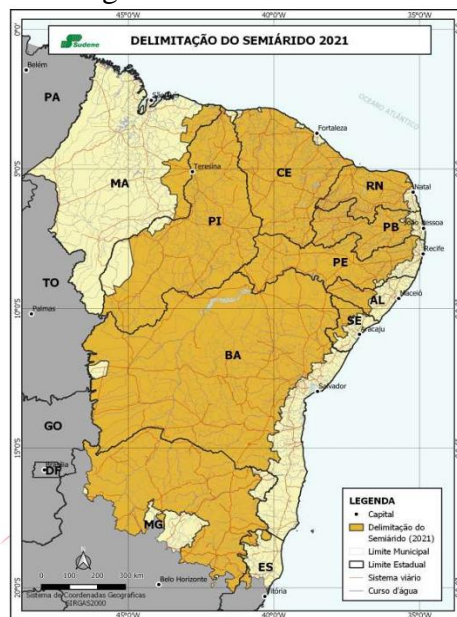
indesejáveis para medir a eficiência produtiva dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro. A análise foi realizada utilizando o software *RStudio*.

Esta pesquisa abrange o ano de 2022, o período mais recente com disponibilidade de dados. Embora a análise de um recorte temporal específico não permita avaliar a evolução temporal da eficiência, o foco é fornecer apenas uma visão preliminar do cenário atual da região do semiárido brasileiro. A eficiência foi calculada para os 1.427 municípios do semiárido brasileiro. Os resultados são apresentados na forma de mapa, para facilitar a visualização da localização geográfica dos estabelecimentos mais e menos eficientes.

Área de estudo

O semiárido brasileiro é considerado a região semiárida mais biodiversa e populosa do mundo (Beuchle *et al.*, 2015; Niemeyer; Vale, 2022). Composta por 1.427 municípios, o semiárido brasileiro abrange os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte do estado de Minas Gerais e do Espírito Santo. E possui uma população de aproximadamente 31,03 milhões de habitantes (IBGE, 2022).

Figura 1: Delimitação geográfica da região do semiárido brasileiro, 2021



Fonte: Sudene, 2021.

Modelo SBM com produtos indesejáveis

O modelo DEA foi inicialmente proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), e utiliza a programação linear para avaliar a *eficiência relativa* de um conjunto homogêneo de DMUs. Esse modelo utiliza múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos.

O modelo DEA tem sido aplicado em diversas áreas de pesquisa, como agricultura, educação, saúde e transporte, entre outras (Wang *et al.*, 2020). E demonstra como uma DMU ineficiente pode melhorar seu desempenho aumentando os níveis de produtos (resultados obtidos) ou diminuindo os níveis de insumos (recursos utilizados).

Contudo, nos modelos DEA tradicionais não se consideram produtos indesejáveis, como poluição, geração de lixo, desmatamento e emissões de CO₂. Na análise da eficiência produtiva dos

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

estabelecimentos rurais, pode-se utilizar indicadores de resultados desejáveis, como valor da produção e quantidade produzida, para os quais maiores resultados correspondem a um melhor desempenho. E, também, pode-se utilizar indicadores de resultados indesejáveis, como a quantidade de emissões de CO₂, para os quais menores resultados correspondem a um melhor desempenho. Nesse caso, o aumento de resultados indesejados diminuirá a eficiência (Zanella; Camanho; Dias, 2015).

Para suprir essa limitação dos modelos tradicionais, Tone (2001) apresentou uma medida de eficiência baseada em folgas (SBM) que permite a inclusão de produtos indesejáveis. O modelo SBM é um problema de programação fracionária não linear, e o valor da eficiência do SBM é interpretado como o produto das ineficiências de entrada e saída (Wang *et. al.*, 2020). Conforme Muniz *et al.* (2022), o modelo SBM é uma medida baseada nos excessos de consumo e nas folgas na produção relativamente às quantidades analisadas. Deste modo, além de identificar a eficiência ou ineficiência das DMUs em análise, essa medida fornece informação para as DMUs ineficiente de onde existem excessos de insumos ou escassez de produtos que poderiam ser corrigidos para aumentar a eficiência.

Matematicamente o modelo SBM pode ser representação pela seguinte equação:

$$\theta = \min_{\lambda, s^-, s^+} \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{s_i^-}{x_{io}} \right)}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left[\sum_{r=1}^{s_1} \left(\frac{s_r^g}{y_{ro}^g} \right) + \sum_{r=1}^{s_2} \left(\frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right) \right]}$$

Sujeito a:

$$x_{io} = X\lambda + s_1^- \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$y_{ro}^g = Y^g\lambda - s_r^g \quad (r = 1, \dots, s_1)$$

$$y_{ro}^b = Y^b\lambda - s_r^b \quad (r = 1, \dots, s_2)$$

A primeira restrição é a matriz de insumos, a segunda é a matriz de produtos desejáveis, e a terceira são os produtos indesejáveis b . Neste modelo, os produtos desejáveis e indesejáveis são separáveis, permitindo a redução dos produtos indesejáveis sem afetar os desejáveis. Deste modo, uma unidade será totalmente eficiente se $\theta=1$ e todas as variáveis de folga forem iguais a zero, ou seja, se não existirem excessos de fatores de produção e nem déficits de produtos em qualquer solução ótima. Caso contrário, se as folgas não forem iguais a zero e $\theta < 1$, a unidade não será eficiente.

Descrição das variáveis

As variáveis que compõem a fronteira de eficiência do modelo DEA-SBM são os insumos (entradas), os produtos desejáveis (saídas) e indesejáveis (saídas). No quadro 1, são descritas as variáveis utilizadas e suas respectivas fontes.

Quadro 1: Descrição das variáveis e fonte de dados.

Variável	Fonte	Referência
Inputs		
Área plantada	PAM (2022)	Pishgar-Komleh; Čechura; Kuzmenko (2021) Baležentis; Dabkienė; Štreimikienė (2022) Chen; Shang; Ji (2023)
Mão de obra	Censo Agropecuário 2017	
Crédito rural	IPEADATA (2022)	Baležentis; Dabkienė; Štreimikienė (2022)
Tratores	Censo Agropecuário 2017	Chen; Shang; Ji (2023)
Outputs		
Valor da produção	IPEADATA (2022)	Pishgar-Komleh; Čechura; Kuzmenko (2021) Baležentis; Dabkienė; Štreimikienė (2022) Chen; Shang; Ji (2023)
Emissões de CO ₂	SEEG (2022)	

Fonte: Elaboração própria.



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

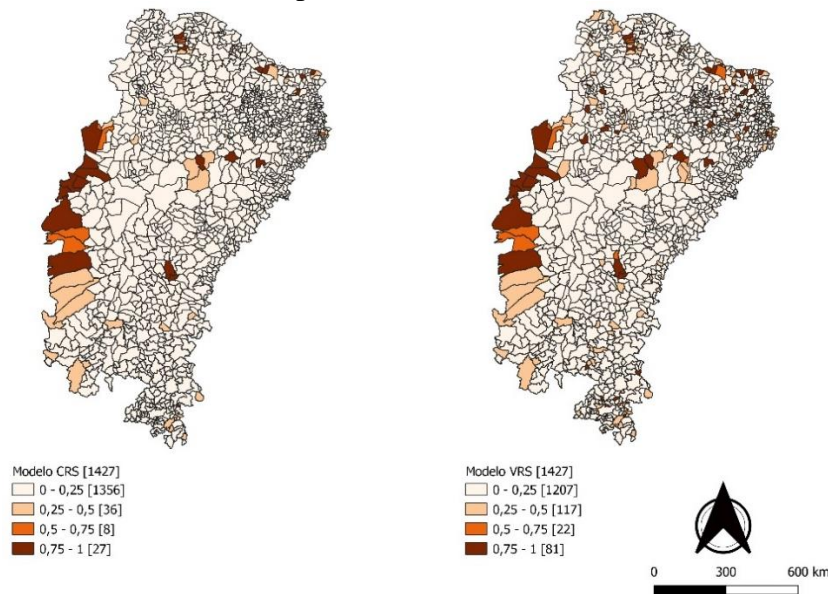
II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Análise e discussão dos resultados

O Mapa 1 sintetiza os resultados da pesquisa que está sendo desenvolvida sobre a eficiência produtiva dos estabelecimentos rurais do semiárido brasileiro que foi baixa. A maioria dos municípios, cerca de 86%, apresenta índice de eficiência menor ou igual a 0,25. Apenas 5% dos municípios alcançaram um índice de eficiência igual a 1, chamados *benchmarking* e estão sobre a fronteira de eficiência.

A região a oeste do semiárido, que também faz parte da região do MATOPIBA, apresentou os maiores índices de eficiência, enquanto a parte interiorana, de modo geral, mostrou uma baixa eficiência. Esse contraste pode ser atribuído ao grande avanço da produção de *commodities* agrícolas que se concentra na parte mais oeste do semiárido brasileiro, que tem se tornado um importante polo agroindustrial. Segundo Garcia e Buainain (2016), a região noroeste da Bahia é a área mais dinâmica do Nordeste em termos de produção agrícola tecnificada. Esse novo padrão tecnológico de produção contribuiu para os ganhos de produtividade, favorecendo o crescimento da região, a despeito da substituição da cobertura vegetal natural por pasto e lavoura.

Mapa 1: Índice de eficiência dos municípios do semiárido brasileiro, modelo SBM



Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados do IBGE (2022).

A estatística descritiva da eficiência relativa, calculada através do modelo DEA- SBM, confirma a análise anterior, indicando de modo geral uma baixa eficiência dos estabelecimentos rurais no semiárido brasileiro. No modelo CRS (retornos constantes à escala), a eficiência média da região é de 0,07, enquanto no modelo VRS (retornos variáveis à escala), essa eficiência é um pouco maior (0,17). No entanto, o desvio padrão se mostrou superior à média em ambos os modelos, evidenciando a dispersão intra-regional, com alguns municípios apresentando valores muito baixos e outros valores mais elevados.

Tabela 1: Estatística descritiva

Estatísticas	CRS	VRS
Média	0,07	0,17
Mediana	0,02	0,09

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Desvio padrão	0,15	0,23
CV	0,02	0,05
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	1	1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme a Tabela 1, o valor máximo, que corresponde à eficiência máxima alcançada pelas DMUs, foi de 1, o que significa que a DMU em análise possui 100% de eficiência, isso para ambos os modelos. Já o valor mínimo, que é a menor eficiência obtida pelas DMUs em ambos os modelos, ficou em 0 devido ao arredondamento. Os resultados foram valores muito pequenos que, quando arredondados, ficaram em 0.

No modelo CRS, 25 municípios foram 100% eficientes, ou seja, tiveram um indicador de eficiência igual a 1. Esses municípios apresentaram a melhor produtividade possível, dados os insumos de que dispunham. No modelo VRS, 84 municípios foram 100% eficientes. Em relação às folgas, no modelo CRS, para a saída valor da produção, foi 0 para todos os municípios do semiárido brasileiro. Já para as emissões de CO₂ por hectare, todos os municípios tiveram resultados superiores a zero, ou seja, todos tiveram folgas. Isso significa que, para o mesmo nível de produção, todos os municípios poderiam reduzir, em média, 90% das emissões de CO₂ por hectare.

Já no modelo VRS, apenas 551 municípios apresentaram folgas iguais a zero para o valor da produção, indicando que, para a maioria dos municípios, ainda há espaço para expandir a produção, em média, em R\$ 22.045,45. Em relação às emissões de CO₂ por hectare, neste modelo, 416 municípios apresentaram folgas iguais a zero, enquanto os restantes tiveram valores superiores a zero. Isso indica que, em média, os 1061 municípios restantes poderiam, mantendo constante a produção, reduzir em 24,19 as emissões de CO₂ por hectare.

Considerações finais

A partir dos resultados preliminares pode-se concluir que os modelos apresentados revelaram informações importantes sobre a produtividade e a sustentabilidade ambiental dos municípios do semiárido brasileiro. De modo geral, constatou-se uma baixa eficiência produtiva nos estabelecimentos rurais, com apenas uma minoria apresentando valores de eficiência mais elevados. Esses municípios mais eficientes estão concentrados na parte oeste do semiárido, também conhecida como a região do MATOPIBA, que tem se desenvolvido consideravelmente nos últimos anos com o avanço da produção de *commodities* agrícolas.

A análise indicou que há um potencial significativo para melhorias em muitos municípios, tanto em termos de eficiência produtiva quanto na redução de impactos ambientais. A análise das folgas, nos dois modelos, mostrou que é possível reduzir significativamente as emissões de CO₂ por hectare nos municípios do semiárido brasileiro, mantendo o nível de produção. Para isso, é necessário investir em tecnologias e práticas agrícolas mais sustentáveis que permitam essa redução. Sugere-se para as novas pesquisas que os dados sejam transformados em taxa e outros modelos da análise envoltória de dados sejam aplicados.

Agradecimentos.



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas que proporcionaram a realização desta pesquisa.

Referências

- BEUCHLE, Rene; GRECCHI, Rosana Cristina; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; SELIGER, Roman; EVA, Hugh Douglas; SANO, Edson; ACHARD, Frédéric. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, [s. l.], v. 58, p. 116-127, 2015.
- CHARNES, A; COOPER, WW; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.
- COOPER, Willian W; SEIFORD Lawrence M; TONE Kaoru. Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. **Second ed. Springer Science & Business Media**, Boston, v. 34, p. 67, 2007.
- GARCIA, Junior Ruiz; BUAINAIN, Antônio Márcio. Dinâmica de Ocupação do Cerrado Nordeste pela Agricultura: 1990 e 2012. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 54, ed. 02, p. 319-338, 2016.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2021**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05 out. 2021.
- MUNIZ, Rita de Fátima; ANDRIOLA, Wagner Bandeira; MUNIZ, Sheila Maria; THOMAZ, Antônio Clécio Fontelles. Emprego do Data Envelopment Analysis (DEA) para estimar a eficiência escolar. **Ensaio: Avaliação E Políticas Públicas Em Educação**, v. 30, n. 114, p. 116–140, 2022.
- NIEMEYER, Julia; VALE, Mariana M. Obstacles and opportunities for implementing a policy-mix for ecosystem-based adaptation to climate change in Brazil's Caatinga. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 122, 2022.
- PICAZO-TADEO, Andrés J.; GÓMEZ-LIMÓN, José A.; REIG-MARTÍNEZ, Ernest Martínez. Assessing farming eco-efficiency: A Data Envelopment Analysis approach. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1154-1164, 2011.
- PISHGAR-KOMLEH, Seyyed Hassan; ČECHURA Lukás; KUZMENKO Elena. Investigating the dynamic eco-efficiency in agriculture sector of the European Union countries. **Environ Sci Pollut Res Int**. v. 28, n. 25, p. 48942-48954, 2021.
- SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. 2020. Disponível em: <[SEEG-10-anos-v4.pdf](#)>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- SUDENE. **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste 2021**. Disponível: https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9_versaodefinitiva__1_.pdf.
- TONE, Kaoru. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, [s. l.]: Elsevier, v. 130, n. 3, p. 498-509, 2001.
- WANG, Chia-Nan; HSU, Hsien-Pin; WANG, Yen-Hui; NGUYEN, Tri-Tung. Eco-Efficiency Assessment for Some European Countries Using Slacks-Based Measure Data Envelopment Analysis. **Applied Sciences**. v. 10, n. 5, 2020.
- ZANELLA, Andreia; CAMANHO, Ana S; DIAS, Teresa G. Undesirable outputs and weighting schemes in composite indicators based on data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 245, p. 517-530, 2015.

