

**EFICIÊNCIAS TÉCNICA, PURA E DE ESCALA EM UMA UNIDADE DE
RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS.**

Salathiel Antunes Teixeira¹ e Carlos Tadeu dos Santos Dias²

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia - UEPG. Rua Horácio Antunes Mendes, n. 621, CEP: 84015-340, Ponta Grossa, PR. E-mail: salathielat@hotmail.com

² Doutor em Agronomia (Estatística e Experimentação Agronômica), Professor visitante permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - UEPG. Av. General Carlos Cavalcanti, n. 4748 – Campus Uvaranas, Sala F-38, Ponta Grossa-PR, CEP 84030-900. E-mail: ctsdias@usp.br

RESUMO: O Brasil tem destacada importância na produção milho refletindo no consumo de energia. A secagem do milho exige energia elétrica para equipamentos e combustível para retirar umidade dos grãos por meio de calor. Métodos de determinação da eficiência em unidades armazenadoras de grãos tornam-se valiosos. O objetivo deste trabalho é determinar índices de eficiência diária de uma unidade de recebimento de grãos de milho com algoritmos baseados na análise envoltória de dados (DEA). Dados diários de massa de grãos recebido, umidade inicial, umidade final após secagem e consumo de lenha foram repassados pelo responsável operacional de uma unidade de recebimento e armazenamento de grãos em Boa Esperança – PR. O consumo diário de energia elétrica foi estimado utilizando a fatura de energia elétrica. A quantidade de água retirada pelo sistema foi calculada de acordo com a literatura. A determinação dos índices de eficiência foi realizada por meio de algoritmos considerando equivalentes em energia das entradas e saída. Todos os valores de eficiência técnica pura foram de 100%. Para os índices de eficiência técnica apenas os dias 9 e 10 atingiram 100%. O mesmo comportamento da eficiência de escala. A DEA mostra-se poderosa na análise de eficiência. De 28 dias analisados, dois atingiram o valor máximo de eficiência de escala com orientação para entradas.

PALAVRAS-CHAVE: análise envoltória, eficiência operacional, unidade de recebimento.

**TECHNICAL, PURE TECHNICAL AND SCALE EFFICIENCIES INDEXES IN A
GRAIN DRYING UNIT**

ABSTRACT: Brazil has highlighted importance in the production of maize by reflecting on energy consumption. Corn drying requires electrical energy for equipment and fuel to remove moisture from the grains through heat. Methods of determining efficiency in grain storage units become valuable. The aim of this paper is to determine daily efficiency indices of a corn grain receiving unit with algorithms based on data envelopment analysis (DEA). Daily data of grain mass received, initial moisture, final moisture after drying and firewood consumption were transferred by the operational leader of a unit of Boa Esperança - PR. The daily consumption of electric energy was estimated using the electricity bill. The amount of water withdrawn by the system was calculated according to the literature. The determination of the efficiency indexes was performed by considering energy equivalents of the inputs and outputs. All values of pure technical efficiency were 100%. For technical efficiency indices only days 9 and 10 reached 100%. The same behavior of scale efficiency. The DEA shows itself to be powerful in the efficiency analysis. From 28 days analyzed, two reached the maximum value of efficiency of scale with inputs orientation.

KEYWORDS: envelopment analysis, operational efficiency, receiving unit.

O Brasil tem destacada importância na produção global de *commodities* como soja e milho. Estados Unidos, Argentina e Brasil foram responsáveis por 46,8% da produção mundial e 73,1% da exportação mundial de milho entre 2008 e 2012. No mesmo período somente o Brasil foi responsável por 7,6% e 14,0% da produção e exportação de milho respectivamente (Meade et al., 2016, p. 1).

A produção agropecuária tem importante papel na produção e utilização de energia. A produção de energia por meio de resíduos de cultura (Costa et al., 2017) ou biomassa e resíduo florestal (Dias Júnior et al., 2017) vêm se tornando alternativa para muitas empresas. Do ponto de vista de consumo, trabalhos para avaliar a eficiência energética dos sistemas agrícolas consideram os insumos utilizados do ponto de vista energético (Mousavi-Avval et al., 2011, 2013; Ommani, 2011). Assim, pode-se ter um balanço considerando entradas e saídas de energia de um sistema agrícola.

No estudo de Konopatzki et al. (2006) verifica-se que a secagem do milho irá exigir estruturas de equipamentos que consomem energia elétrica e requerem manutenções com intuito de reduzir custos. Outro custo importante no processo é o combustível utilizado para obter calor e retirar umidade dos grãos. Do ponto de vista energético total na produção, no caso específico do milho, secagem pode representar 50% da energia (Lopes et al. 2000, p. 222).

Assim, a utilização de métodos ou técnicas para determinação de índices de eficiência em unidades de recebimento de grãos pode ser valiosa. Conhecer quais unidades de beneficiamento em um determinado grupo tem maior ou menor eficiência permite ao gestor determinar quais os motivos destas diferenças (Teixeira et al., 2018). Ainda, pode-se customizar soluções em unidades com baixos índices de eficiência visando reduzir custos e melhorar a competitividade.

A análise envoltória de dados (*data envelopment analysis* - DEA) é uma técnica que permite a avaliação do desempenho e eficiência dos mais variados sistemas. O desempenho de CEO's (*chief executive officers*) e suas práticas de gestão (Chen et al., 2016), eficiência de organizações de transporte (Yu e Chen, 2016) e o impacto da incorporação de índices de satisfação de consumidores sobre a eficiência de custos de redes de distribuição (Growitsch et al., 2016) são alguns dos exemplos de empregos de DEA.

No Brasil a análise envoltória de dados foi utilizada em estudos de eficiência de produção de citrus (Clemente et al., 2015), determinação da eficiência empresas familiares e não familiares (Guse et al., 2015), eficiência produtiva em cultivos intercalados envolvendo a cenoura (Batista et al., 2016), índices de desempenho cadeia produtiva animal (Gomes et al., 2015) e estudos sobre eficiência de usinas de cana de açúcar (Junior et al., 2014; Salgado Junior et al., 2014; Pereira e Silveira, 2016).

A cultura de cana-de-açúcar frequentemente aparece em estudos envolvendo DEA no Brasil. A técnica foi empregada para avaliar sistemas de industrialização ou custos de produção da cana-de-açúcar. Exemplo é a avaliação entre usinas no território brasileiro (Salgado Junior et al., 2014). Concluiu-se que o tamanho influencia a eficiência em função do maior emprego de tecnologia. Já a localização, proporciona condições edafoclimáticas para maiores teores de sacarose na cana, influenciando a eficiência operacional.

Pereira e Silveira (2016) também realizaram um estudo aprofundado da eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar fazendo uso de DEA. Suas conclusões foram que a componente tecnológica tem papel fundamental na eficiência das unidades que se destacaram. Afirma-se ainda a importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento no setor para não tornar-se apenas um tomador de pacotes tecnológicos padrões.

Os custos de produção de cana-de-açúcar em diferentes regiões de produção foram objetos de outro estudo e foram avaliados com a utilização de DEA (Pereira e Tavares, 2017). Neste caso foram consideradas as produções de cada região (saídas) e custos (entradas) com mecanização, mão-de-obra, suprimentos, leasing, administrativos, remuneração da terra e capital. Uma das conclusões é que a região centro sul teve maior índice de tecnificação.

A aplicação de DEA permite encontrar índices de eficiência relativa entre elementos de um grupo. Esses elementos ou organizações em estudo são chamados de unidades formadoras de decisão (DMU – *decision making unit*) (Cooper e Seiford, 2007, p. 22). O que determina a eficiência destas DMU é a relação entradas (insumos para produção) e saídas (produção propriamente dita).

Na essência a DEA consiste em transformar um problema fracional em um problema de programação linear (Cooper e Seiford, 2007, p. 23) utilizando os conceitos de álgebras linear, vetorial e de matrizes. A resolução deste problema para determinar os índices de eficiência é feita facilmente utilizando computadores e softwares (Coelli, 1996; Hřebíček et al., 2015; Silva et al., 2017).

O método básico de DEA é o que assume retorno constante por escala (*constant return to scale* - CRS) proposto por Charnes et al. (1978) e em alguns trabalhos identificado pelas iniciais destes autores (CCR). Do modelo básico surgiu a análise com base em retorno variável por escala (*variable return to scale* – VRS) e também associada às iniciais BCC dos autores do trabalho (Banker et al., 1984). A partir dos valores de eficiência técnica (CRS) e eficiência técnica pura (VRS) é possível determinar a escala de eficiência (SE – *scale efficiency*) pela razão entre a eficiência técnica e eficiência técnica pura (Cooper e Seiford, 2007, p. 153; Mousavi-Avval et al., 2011, p. 3767).

Diante do exposto, é objetivo deste trabalho determinar índices de eficiência diária de uma unidade de recebimento de grãos de milho utilizando a análise envoltória de dados (DEA) com algoritmos criados no MapleSoft™.

MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento de informações necessárias foi feito em unidade de recebimento e beneficiamento de grãos (URBG) no município de Boa Esperança, estado do Paraná, região com predominância do sistema de produção soja seguido de milho 2ª safra (localização geográfica: 24° 15' 14,0'' S e 52° 46' 59,8'' W). No mês julho de 2017 a URBG recebeu 45.878 toneladas de milho em grão sendo necessária a secagem deste produto à níveis de umidade adequados ao armazenamento.

Assim, foi realizada a determinação da umidade inicial em aparelho convenientemente calibrado. Para o caso específico do milho os detalhes sobre classificação podem ser encontrados na Instrução Normativa n. 60/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Após a classificação foi determinada a massa de grãos da carga. Os resultados de umidade e massa foram registradas no sistema da URBG. Esse procedimento foi adotado para todas as cargas diariamente, logo, há um registro do total recebido e da umidade inicial média do dia. Na URBG se realizou pesagem da lenha consumida durante o dia para geração de energia térmica.

Para realização do trabalho foram utilizados dados diários de massa de grãos de milho recebido, umidade inicial média de entrada do milho, umidade final após o processo de secagem e consumo de lenha (combustível). A lenha utilizada era do gênero *Eucalyptus* sp. Estes dados foram fornecidos pelo encarregado operacional da URBG. A empresa forneceu os

dados, porém, solicitou que não seja feita referência direta a sua razão social e/ou nome fantasia.

O consumo de energia elétrica foi determinado na fatura de pagamento fornecida pela companhia de energia elétrica. Foi calculado o consumo diário pela divisão do consumo mensal pelo número de dias do período. O procedimento é justificado, pois, durante o mês de julho a estrutura operacional funcionou de maneira intermitentemente no recebimento e não houve determinação diária do consumo de energia elétrica pela falta de metodologia específica para este fim por parte da URBG.

Com os dados foram realizados o cálculo das entradas e saída de energia no sistema. O poder calorífico da lenha utilizado nos cálculos foi de 19.597,85 kJ kg⁻¹. Este valor é da ordem de grandeza dos resultados em outros estudos (Quirino e Abreu, 2005; Müzel et al., 2014). Para estimar a saída de energia do sistema foi utilizado o valor de 2.250,0 kJ kg⁻¹ como calor latente da água.

A energia proveniente da combustão da lenha para aquecimento do ar de secagem e a energia elétrica para movimentação das máquinas e equipamentos componentes da URBG foram consideradas as entradas. O equivalente em energia da água retirada da massa de grãos foi considerada a saída. Os detalhes de como obter esses valores podem ser encontrados em Lopes et al. (2000, p.199-207). Cada um dos 28 dias avaliados foi considerado uma DMU permitindo estabelecer índices de eficiência diário com valores de eficiência técnica (CRS), eficiência técnica pura (VRS) e eficiência de escala (SE).

A determinação dos índices de eficiência foi realizada por meio da criação de algoritmo de cálculo no software MapleSoft™. A realização do algoritmo seguiu os desígnios e condições de restrição para resolução dos problemas de programação linear associada ao CRS (Cooper e Seiford, 2007, p. 43) e para o VRS (Cooper e Seiford, 2007, p. 91) com orientação para entradas (*input oriented*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados dados obtidos na URBG. A sazonalidade na produção das culturas como soja, trigo, milho e, no caso deste estudo, milho 2^a safra refletem nos processos de secagem. Características da região, área cultivada, período de semeadura e clima irão determinar a quantidade e a taxa de recebimento diário da URBG. Para este trabalho,

considerando a região oeste do Paraná, o período de 28 dias do mês de julho representa a realidade regional.

A partir dos dados da Tabela 1 se estimou as quantidades de energia nas entradas e saída do sistema de secagem (Tabela 2). As entradas e saída correspondem a energia elétrica utilizada diariamente bem como os equivalentes em energia da lenha utilizada como combustível na secagem e consequente retirada de água dos grãos.

Os dados da Tabela 2 foram agrupados em três matrizes: 1. A matriz chamada de XI de dimensão 28×2 referente as entradas; 2. A matriz chamada de YI de dimensão 28×1 referente a única saída do sistema; 3. A matriz chamada de DMU de dimensão 28×1 com os nomes das DMU 's (neste caso os nomes são os números de dias de 1 a 28).

As matrizes foram importadas para o MapleSoft™ para realização dos cálculos de acordo com o algoritmo exposto na Figura 1. Trabalho semelhante pode ser encontrado na bibliografia (Hřebíček et al., 2015), porém, para este caso foram feitas alterações e adequações para as especificidades do caso.

Tabela 1 – Dados de umidade inicial, umidade final, massa de grãos recebida, água retirada e consumo de lenha na unidade de recebimento de grãos para 28 DUM's

DMU	Umidade inicial ¹	Umidade final ¹	Massa de grãos ¹	Água retirada ²	Consumo lenha ¹
	-----%-----		----- kg -----		
1	22,2	13,1	1.377.000,0	144.513,7	99.400,0
2	25,9	13,1	1.355.501,0	199.503,5	105.640,0
3	24,7	13,1	903.300,0	120.994,4	90.000,0
4	23,4	13,1	1.201.260,0	142.381,8	90.830,0
5	24,4	13,1	1.532.820,0	198.790,3	93.170,0
6	24,0	13,1	1.363.820,0	170.752,1	101.510,0
7	24,2	13,1	1.544.061,0	196.872,2	104.170,0
8	23,9	13,1	1.552.800,0	192.625,8	105.740,0
9	23,9	13,1	1.559.500,0	194.533,7	87.500,0
10	23,9	13,1	1.773.680,0	220.434,3	114.170,0
11	23,5	13,1	1.689.600,0	202.596,5	107.400,0
12	23,4	13,1	1.587.600,0	188.721,6	106.660,0
13	23,5	13,1	1.618.122,0	193.839,5	103.530,0
14	23,2	13,1	1.673.640,0	195.097,5	101.510,0
15	22,9	13,1	1.505.400,0	170.461,9	89.160,0
16	22,4	13,1	1.764.200,0	189.209,9	93.330,0
17	22,4	13,1	1.441.481,0	154.764,3	72.500,0
18	23,6	13,1	1.506.361,0	182.704,8	100.830,0
19	23,2	13,1	1.384.040,0	161.497,9	89.900,0
20	23,1	13,1	1.344.220,0	154.067,1	82.510,0

DMU	Umidade inicial ¹	Umidade final ¹	Massa de grãos ¹	Água retirada ²	Consumo lenha ¹
	-----%-----			-----kg-----	
21	23,4	13,1	1.406.080,0	166.334,9	97.500,0
22	21,8	13,1	1.390.840,0	139.244,1	80.840,0
23	21,7	13,1	1.406.240,0	139.005,8	65.000,0
24	22,4	13,1	1.472.960,0	157.127,0	90.830,0
25	21,6	13,1	1.626.040,0	158.113,2	84.170,0
26	21,8	13,1	1.614.960,0	161.496,0	80.000,0
27	21,5	13,1	1.752.261,0	168.571,9	95.830,0
28	21,1	13,1	1.775.502,0	164.269,7	86.670,0

Fonte: ¹Registros da URBG no mês de Julho de 2017 e ²resultados originais da pesquisa estimados de acordo com Lopes et al. (2000).

A total compreensão dos mecanismos de cálculo por trás destas duas linhas de código só pode ser alcançada com a compreensão da teoria matemática (Cooper e Seiford, 2007; Peixoto et al., 2016; Alexandrino et al., 2017; Silva et al., 2017). Contudo, ao utilizar estas linhas no MapleSoft™ será possível visualizar todo o constructo do problema explicitamente, a depender da necessidade do usuário, em formato de sistemas de equações ou notação matricial bastando excluir os dois pontos após “*end do*” (Figura 1).

A solução explícita dos cálculos do problema proposto neste trabalho infelizmente não é passível de apresentação neste trabalho em virtude da quantidade de páginas que seriam necessárias para isso. Assim, apresentam-se os resultados finais dos cálculos na Tabela 3.

Tabela 2 – Entradas e saída de energia no sistema de secagem de grãos de milho

DMU	Entradas		Saída
	Energia ¹ - Lenha	Energia ² - Elétrica	Energia ³ - água
----- MJ -----			
1	1.948.026,3	41.481,7	325.155,8
2	2.070.316,9	41.481,7	448.883,0
3	1.763.806,5	41.481,7	272.237,4
4	1.780.072,7	41.481,7	320.359,0
5	1.825.931,7	41.481,7	447.278,3
6	1.989.377,8	41.481,7	384.192,3
7	2.041.508,0	41.481,7	442.962,5
8	2.072.276,7	41.481,7	433.408,1
9	1.714.811,9	41.481,7	437.700,9
10	2.237.486,5	41.481,7	495.977,3
11	2.104.809,1	41.481,7	455.842,0
12	2.090.306,7	41.481,7	424.623,6
13	2.028.965,4	41.481,7	436.138,8
14	1.989.377,8	41.481,7	438.969,4

DMU	Entradas		Saída
	Energia ¹ - Lenha	Energia ² - Elétrica	Energia ³ - água
	----- MJ -----		
15	1.747.344,3	41.481,7	383.539,2
16	1.829.067,3	41.481,7	425.722,4
17	1.420.844,1	41.481,7	348.219,7
18	1.976.051,2	41.481,7	411.085,7
19	1.761.846,7	41.481,7	363.370,2
20	1.617.018,6	41.481,7	346.651,0
21	1.910.790,4	41.481,7	374.253,5
22	1.584.290,2	41.481,7	313.299,1
23	1.273.860,3	41.481,7	312.763,0
24	1.780.072,7	41.481,7	353.535,8
25	1.649.551,0	41.481,7	355.754,7
26	1.567.828,0	41.481,7	363.366,0
27	1.878.062,0	41.481,7	379.286,9
28	1.698.545,7	41.481,7	369.606,8

Fonte: Resultados originais da pesquisa observando os valores de ¹poder calorífico da lenha, ²fatura de energia elétrica no período e ³calor latente da água.

Os resultados das eficiências calculados com orientação para entradas (*input oriented*) identificam que a variação de eficiência durante os dias analisados foi pequena. Ao se deparar com o resultado de eficiência técnica pura de 100% pode-se ter a impressão de que em todos os dias a URBG teve desempenho impecável. Contudo, isso é questionável e fica evidente quando se analisa os valores de Eficiência técnica e de escala.

```

with(simplex) :
Dept := convert(DMU, list) :

Output := convert(Y1, list) :
MI := Matrix(28, 1, Output) :
L1 := Vector[row](28, i→lambda[i]) :
e1 := Vector[row](28, 1) :
eq11 := sum(lambda[i], i = 1..28) + theta ≥ 0 :
for N from 1 to 28 do
OVI := Vector[row](28, i→lambda[i]).MI :
IVI := Vector[row](28, i→lambda[i]).XI :
eq21 := IVI[1] - XI[N, 1].theta ≤ 0 :
eq31 := IVI[2] - XI[N, 2].theta ≤ 0 :
eq41 := + MI[N, 1] - OVI[1] ≤ 0 :
s1 := eq11, eq21, eq31, eq41 :
evalf(minimize(theta, {s1}, NONNEGATIVE), 11);
print(Dept[N], select(x → (rhs(x) ≠ 0), %));
end do;

with(simplex) :
with(LinearAlgebra) :
Dept := convert(DMU, list) :
Output := convert(Y1, list) :
MI := Matrix(28, 1, Output) :
L1 := Vector[row](28, i→lambda[i]) :
e1 := Vector[row](28, 1) :
eq11 := sum(lambda[i], i = 1..28) + theta ≥ 0 :
for N from 1 to 28 do
OVI := Vector[row](28, i→lambda[i]).MI :
IVI := Vector[row](28, i→lambda[i]).XI :
eq21 := IVI[1] - XI[N, 1].theta ≤ 0 :
eq31 := IVI[2] - XI[N, 2].theta ≤ 0 :
eq41 := + MI[N, 1] - OVI[1] ≤ 0 :
eq51 := L1.e1 = 1 :
s1 := eq11, eq21, eq31, eq41, eq51 :
evalf(minimize(theta, {s1}, NONNEGATIVE), 48);
print(Dept[N], select(x → (rhs(x) ≠ 0), %));
end do;

```

Figura 1 – Algoritmos de cálculo dos índices de eficiência (theta) no software MapleSoft™ considerando retorno constante por escala (CRS) a esquerda e retorno variável por escala (VRS) a direita. Fonte: Resultados originais da pesquisa.

O método VRS de certa forma ajusta a fronteira de eficiência aos extremos do conjunto de possibilidade de produção. Essa constatação pode ser melhor visualizada geometricamente em exemplos menos complexos da literatura (Cooper e Seiford, 2007, p. 88; Mousavi-Avval et al., 2011, p. 3767). Ainda, os índices de eficiência calculados são relativos, ou seja, são calculados entre os elementos do grupo. Assim, para este caso em estudo, os valores diários de entradas e saída são próximos o suficiente para favorecer que todos os dias analisados atingissem o valor máximo na escala que vai de 0 a 1 (100%) situando-se sobre a fronteira de eficiência.

Por definição uma DMU deverá atender simultaneamente dois requisitos para atingir a eficiência técnica plena: (1) valor máximo para eficiência, ou seja, 100% e (2) “folgas” (*slacks*) iguais a zero. Não é objetivo neste trabalho detalhar os significados das “folgas” sendo possível encontrar detalhes na bibliografia (Cooper e Seiford, 2007, p. 45). Limita-se dizer que, quando existentes, estas podem ser calculadas e são suficientes para indicar a ineficiência de uma DMU em relação a outra. A literatura mostra que nestes casos os fatores de produção para uma determinada DMU pode ser expressa como uma combinação linear envolvendo fatores de produção de outra(s) DMU(s).

No caso das eficiências determinadas por CRS (Tabela 3 e Figura 2) apenas dois dias atingiram a máxima eficiência. As demais DMU's (dias), além de não atingirem o índice máximo de eficiência, podem ser vistos como combinações lineares dos dados referentes aos dias 9 e 10. Novamente sugere-se a avaliação geométrica de exemplos encontrados na literatura e citados anteriormente.

Tabela 3 – Valores de eficiência técnica, eficiência técnica pura e eficiência de escala obtidos por meio de cálculos computacionais numéricos utilizando os conceitos de DEA

DMU (dia)	Eficiência técnica (CRS)	Eficiência técnica pura (VRS)	Eficiência de escala (SE)
1	70,12%	100,00%	70,12%
2	94,04%	100,00%	94,04%
3	61,43%	100,00%	61,43%
4	71,99%	100,00%	71,99%
5	99,38%	100,00%	99,38%
6	82,04%	100,00%	82,04%
7	93,43%	100,00%	93,43%
8	90,76%	100,00%	90,76%
9	100,00%	100,00%	100,00%
10	100,00%	100,00%	100,00%

DMU (dia)	Eficiência técnica (CRS)	Eficiência técnica pura (VRS)	Eficiência de escala (SE)
11	94,73%	100,00%	94,73%
12	88,54%	100,00%	88,54%
13	92,26%	100,00%	92,26%
14	93,73%	100,00%	93,73%
15	86,91%	100,00%	86,91%
16	94,51%	100,00%	94,51%
17	96,02%	100,00%	96,02%
18	88,06%	100,00%	88,06%
19	82,04%	100,00%	82,04%
20	83,99%	100,00%	83,99%
21	81,44%	100,00%	81,44%
22	77,48%	100,00%	77,48%
23	96,19%	100,00%	96,19%
24	79,45%	100,00%	79,45%
25	84,49%	100,00%	84,49%
26	90,80%	100,00%	90,80%
27	83,19%	100,00%	83,19%
28	85,25%	100,00%	85,25%

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Como alternativa a ideia convencional de fronteira de eficiência observe a representação da Figura 2 considerando os resultados de eficiência técnica em uma escala de 0 a 1 obtidos pelo método CRS. Os elementos do grupo que determinam a fronteira de eficiência são as DMU's 9 e 10 (destacados em vermelho). Todas as outras apresentaram índices de eficiência técnica abaixo da DMU 9 e 10.

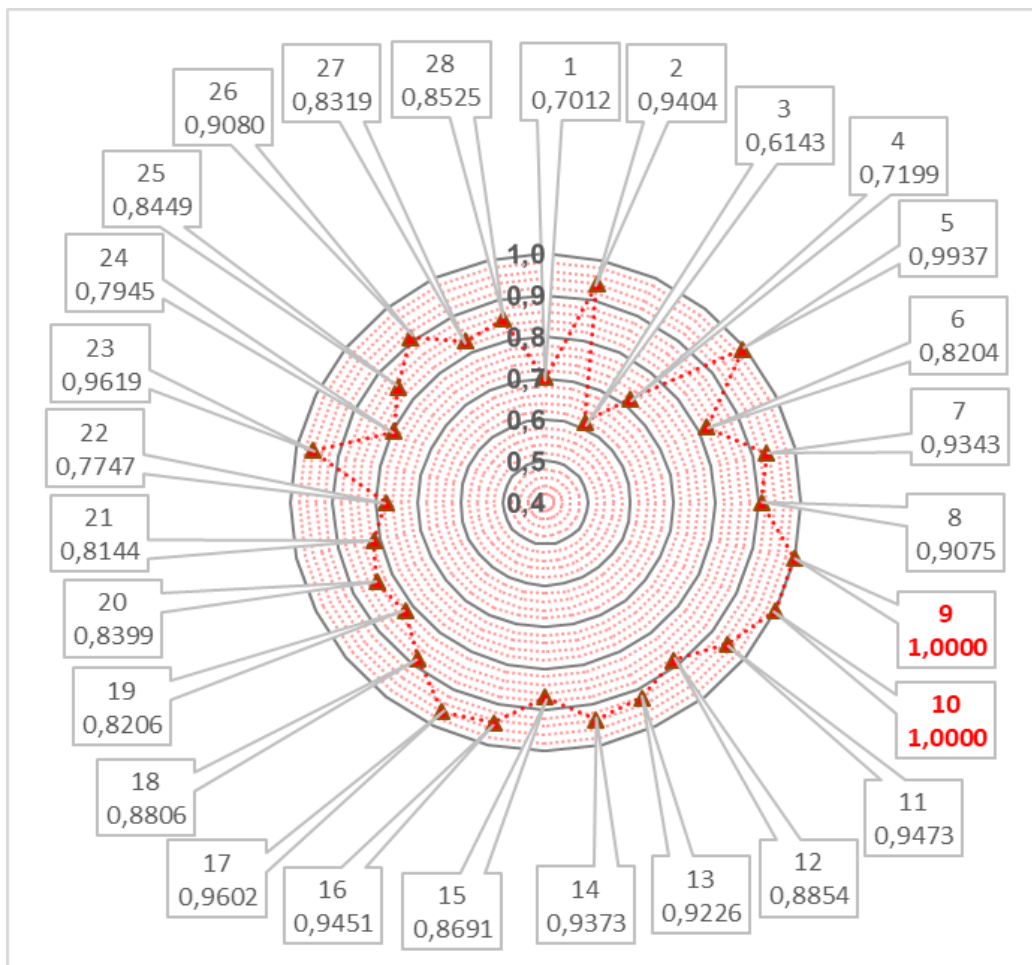


Figura 2 – Resultados de eficiência técnica (CRS) calculada para os 28 dias analisados no mês de julho em uma unidade de recebimento de grãos considerando entradas e saída de energia no processo de secagem. Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Por conveniência, os cálculos foram realizados considerando entradas e saída do sistema em unidades de energia. Contudo, essa foi uma escolha arbitrária e que não é necessária na utilização de DEA. O teorema da invariância de unidades de medida (Cooper e Seiford, 2007, p. 24) afirma que, desde que a unidade de medida de cada entrada e saída seja a mesma para todas as DMU's, é de livre escolha de quem faz a análise determinar qual será a forma de medi-la. Nada impede que esta estrutura de recebimento de grãos seja avaliada considerando número de pessoas trabalhando, apenas seria necessária uma nova entrada (coluna) na matriz XI e as devidas adequações no algoritmo (Figura 1).

Do estudo desta URBG em específico é possível identificar que de 28 dias analisados dois atingiram o valor máximo de eficiência de escala considerando uma orientação para entradas (*input oriented*). A saber os dias 9 e 10 apresentaram eficiência de escala 100%.

A construção de algoritmos não é amigável para usuários menos habituados com o MapleSoft™. No entanto, a utilização dos algoritmos neste software é esclarecedora em virtude da possibilidade de tornar explícito o constructo matemático do problema.

Os algoritmos descritos para os cálculos dos índices de eficiência satisfizeram os requisitos teóricos necessários. Outras opções de software de DEA podem ser encontrados com interface de utilização amistosa.

Para outros estudos utilizando DEA em sistemas de recebimento, secagem e armazenamento de grãos a adoção de outros parâmetros de gestão operacional como quantidade de mão de obra utilizada, número de descargas recebidas, etc. consagrarão todo o potencial da análise envoltória. Um estudo similar a este considerando variações de consumo de energia elétrica diárias poderá trazer resultados complementares aos encontrados.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Sérgio Magalhães do Departamento de Física da UEPG pela cooperação com o software. A UEPG e a CAPES pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, F. Q. de L.; SANTOS, R. A. B. dos; ANGULO-MEZA, L.; BORDEAUX-REGO, R. Utilização da análise envoltória de dados (DEA) na composição de carteira de investimento diversificada e eficiente. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 2, p. 507, 2017.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BATISTA, T. M. DE V.; BEZERRA NETO, F.; PORTO, V. C. N.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, Í. N.; SILVA, M. L. da; LIMA, J. S. S. de; OLIVEIRA, E. Q. de. Bio-agro-economic returns from carrot and salad rocket as intercrops using hairy woodrose as green manure in a semi-arid region of Brazil. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 458–465, 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

CHEN, Y.; GREGORIOU, G. N.; ROUAH, F. D. Efficiency Persistence of Bank and Thrift CEOs Using Data Envelopment Analysis. In: ZHU, J. (Ed.). **Data Envelopment Analysis**. Boston, MA: Springer, 2016. p. 1–16.

CLEMENTE, F.; LÍRIO, V. S.; GOMES, M. F. M. Technical efficiency in Brazilian citrus production. **Bio-based and Applied Economics**, v. 4, n. 2, p. 165–178, 2015.

COELLI, T. **A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program**. Disponível em: <<http://www.owlnet.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF>>. Acesso em: 18 maio 2018.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2. ed. [s.l.] Springer-Verlag US, 2007.

COSTA, M. A. B.; BATAGHIN, F. A.; FRANCI, A. A. B.; BRASSOLATTI, T. F. Z. Ecoeficiência energética no setor sucroalcooleiro. **A Cartilha da bioeletricidade**, v. 2, n. 4, p. 21, 2017.

DIAS JÚNIOR, A. F.; LANA, A. Q.; BERNARDES, F. F.; BRITO, J. O. Madeira, energia e geração de termoeletricidade. **Energia na Agricultura**, v. 32, n. 2, p. 157, 2017.

GOMES, E. G.; ABREU, U. G. P. de; MELLO, J. C. C. B. S. de; CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de. Economic and socio-environmental performance assessment of beef cattle production systems: a data envelopment analysis (DEA) approach with weight restrictions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 6, p. 219–225, 2015.

GROWITSCH, C.; JAMASB, T.; MÜLLER, C.; WISSNER, M. Social Cost Efficient Service Quality: Integrating Customer Valuation in Incentive Regulation—Evidence from the Case of Norway. In: ZHU, J. (Ed.). **Data Envelopment Analysis**. Boston, MA: Springer, 2016. p. 71–91.

GUSE, J. C.; POLITELO, L.; LEITE, M.; SILVA, T. P. da. Propriedade Familiar e Desempenho de Empresas do Agronegócio Brasileiro. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 271, 2015.

HŘEBÍČEK, J.; TRENZ, O.; CHVÁTALOVÁ, Z.; SOUKOPOVÁ, J. **Optimization of corporate performance using data envelopment analysis with Maple**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267507893_b17488-136>. Acesso em: 19 maio. 2018.

JUNIOR, A. P. S.; CARLUCCI, F. V.; GRESPAN, C. A. Investment Potential for New Sugarcane Plants in Brazil Based on Assessment of Operational Efficiency. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 17, n. 2, p. 41–64, 2014.

KONOPATZKI, E. A.; OLIVEIRA, C. E. L. de; SILVA LIMA, A. da; MARIM, C. Unidades armazenadoras de grãos da mesorregião de Cascavel: nível de inovação tecnológica e consumo de eletricidade. **Varia Scientia**, v. 6, n. 11, p. 61–73, 2006.

LOPES, R. P.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. **Energia no pré-processamento de produtos agrícolas.** Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/Livro%20secagem%20e%20armazenagem%20de%20produtos%20agr%EDcolas%202009/Cap%EDtulo%208.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2019.

MEADE, B.; PURICELLI, E.; MCBRIDE, W.; VALDES, C.; HOFFMAN, L.; FOREMAN, L.; DOHLMAN, E. **Corn and Soybean Production Costs and Export Competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States**, jun. 2016. Disponível em: https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44087/59672_eib-154_errata.pdf?v=42559. Acesso em: 7 ago. 2018

MOUSAVI-AVVAL, S. H.; RAFIEE, S.; JAFARI, A.; MOHAMMADI, A. Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. **Applied Energy**, v. 88, n. 11, p. 3765–3772, 2011.

MOUSAVI-AVVAL, S. H.; RAFIEE, S.; JAFARI, A.; MOHAMMADI, A. Energy saving of field operations in soybean production using data envelopment analysis approach. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 46, p. 5776–5784, 2013.

MÜZEL, S.; DE OLIVEIRA, K.; HANSTED, F.; PRATES, G.; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 166–172, 2014.

OMMANI, A. R. Productivity of energy consumption in agricultural productions: A case study of corn farmers of Ahwaz Township, Iran. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 13, p. 2945–2949, 2011.

PEIXOTO, M. G. M.; LOPES, B. E. S.; ARANTES, V. A.; CAMPOS, L. S.; MENDONÇA, M. C. A.; MUSETTI, M. A. Logística de combustíveis e análise envoltória de dados: avaliação do desempenho de uma rede de postos do Alto Paranaíba e triângulo mineiro. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 3, p. 1097, 2016.

PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 1, p. 147–166, 2016.

PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Efficiency of major producing regions of sugar cane through Data Envelopment Analysis (DEA). **Custos e @gronegocio on line**, v. 13, p. 37–70, 2017.

QUIRINO, W. F.; ABREU, L. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulásicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100–106, 2005.

SALGADO JUNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; NOVI, J. C.; PACAGNELLA JUNIOR, A. C. Aplicação da análise envoltória de dados (AED) na avaliação da eficiência operacional relativa entre usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 826–843, 2014.

SILVA, V. D. S. da; KAKIHARA, A. A. S. B. de S.; POKER, J. H.; MILANI FILHO, M. A.; BELLI, M. M. Análise de eficiência dos serviços de hospitais públicos nas capitais brasileiras. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 3, p. 1090, 2017.

TEIXEIRA, S. A.; KAWANO, B. R.; PETINELI, R. Eficiência de secagem de milho em duas unidades de recebimento de grãos no estado do paraná. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 2, p. 157–161, 2018.

YU, M.-M.; CHEN, L.-H. Assessment of Transportation Performance: A Network Structure. In: ZHU, J. (Ed.). **Data Envelopment Analysis**. Boston, MA: Springer, 2016. p. 17–43.