



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

## **Análise de clusters para a sustentabilidade no setor de eletricidade: um estudo empírico a partir dos indicadores GRI**

**SIMONE SARTORI**

simone.eng.prod@gmail.com

**GABRIEL SHINJI KUMM KURIYAMA**

gabrielshinjikummkuriyama@gmail.com

**BRUNO SANTOS VIEIRA**

brunosanvi@gmail.com

**DIEGO FETTERMANN**

d.fettermann@ufsc.br

**LUCILA MARIA DE SOUZA CAMPOS**

Universidade Federal de Santa Catarina

lucila.campos@ufsc.br

## **Análise de clusters para a sustentabilidade no setor de eletricidade: um estudo empírico a partir dos indicadores GRI**

### **Cluster analysis for sustainability in electricity sector: an empirical study from GRI indicators**

#### **Resumo**

Este artigo tem por objetivo analisar a formação de clusters no setor de eletricidade em relação ao desempenho da sustentabilidade. Nesse sentido, os indicadores da *Global Reporting Initiative* (GRI) foram identificados e analisados seguindo os seguintes passos: (i) formação dos indicadores relativos (rácios) de sustentabilidade de acordo com literatura e o setor de eletricidade; e (ii) análise de agrupamentos. A amostra consistiu de 29 relatórios de empresas dos países com o maior PIB no mundo em 2012. Os indicadores relativos representam as dimensões ambientais, econômicas e sociais. Os principais resultados são a formação de dois grandes grupos. O grupo 1 é formado por empresas de geração eletricidade com predominância de fonte renovável. No grupo 2 há predominância de empresas que usam de fontes não renováveis. As diferenças mais claras está na dimensão social (treinamento anual dos colaboradores e menor *turnover*) com melhor desempenho do grupo 2. Já o grupo 1 apresenta melhor desempenho na dimensão ambiental (eficiência energética e emissão de gases de efeito estufa). Portanto, sugere-se a implementação de tecnologias de produção mais limpa para as empresas do grupo 2.

Palavras-chave: Indicadores relativos de sustentabilidade; Eletricidade; *Global Reporting Initiative*; Análise de Agrupamentos.

#### **Abstracts**

This paper proposes cluster analysis of companies in electricity sector regarding sustainability performance. In this way, the indicators from Global Reporting Initiative (GRI) were identified and analyzed following these steps: (i) identification of relative indicators (ratios) according to a literature review; and, (ii) clusters analysis. The sample consisted of 29 reports from countries' companies with the highest GDP in the world in 2012. The ratio indicator represents the environmental, economic and social dimension. The main results are the formation of two big clusters. The cluster 1 consists of generating electricity companies predominantly from renewable sources. In the cluster 2 there is a predominance of companies that using non-renewable sources. The major difference is the social dimension (annual training of employees and lower turnover) with better performance in cluster 2. In the cluster 1 has the best performance in the environmental dimension (energy efficiency and emission of greenhouse gases). According to the characteristics of the two clusters, it is suggested the implementation of cleaner production technologies for companies in the cluster 2.

Key words: Relative Indicators of Sustainability; Electricity Power; Global Reporting Initiative; Cluster analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas quatro décadas, relatórios e estudos influentes (por exemplo, *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) em 1969, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, Relatório Brundtland em 1987, Protocolo de Montreal em 1989, Agenda 21 em 1992, Rio+5 em 1997, Rio+10 em 2002, Protocolo de Quioto em 2005, *The Earth Charter Initiative* em 2008, Agenda 2050 em 2011 e Rio+20 em 2012) tomaram a posição de que o mundo, de fato, enfrenta sérios problemas no curto prazo e longo prazo decorrente de uma combinação de crescimento da população humana, rápido crescimento dos níveis de prosperidade e consumo e a intensificação da atividade industrial (KIDD, 1992; ASICI, 2013).

Recente relatório do Programa Ambiental dos Estados Unidos (UNEP, 2012), *Global Environment Outlook-5: Environment for the future we want*, destaca o estado e as tendências do planeta e seu povo. As consequências desta combinação são claras: enquanto o crescimento econômico e a prosperidade aumentaram a qualidade de vida para bilhões de pessoas, eles também desestabilizaram o clima e degradaram os recursos naturais do mundo – a base da qual a prosperidade futura depende. Cientistas alertam que muitos destes impactos podem se tornar permanentes em escalas de tempo humanas se ações para aliviar as pressões não forem tomadas imediatamente (UNEP, 2012).

Em resposta, muitas são as pesquisas voltadas para a sustentabilidade. Várias abordagens têm sido propostas para avaliar a sustentabilidade de uma região, nação ou empresas, por exemplo, Pressão-Estado-Resposta, *Global Reporting Initiative* (GRI), *Ecological Footprint*, *Sustainable Value Added*, entre outras (essas e outras ferramentas podem ser encontradas nos trabalhos de Ness et al. (2007), Singh et al (2012), Sartori e Campos (2013). Uma característica comum destes métodos é a utilização de uma série de indicadores para avaliar e definir a sustentabilidade. Pois, para acompanhar o desempenho em relação as dimensões ambientais, econômicas e sociais, é possível avaliar a pertinência dos objetivos de sustentabilidade e identificar os pontos críticos.

Os indicadores são reconhecidos como uma ferramenta poderosa no fornecimento de informações sobre o desempenho dos países e o desempenho empresarial em áreas como meio ambiente, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social ou tecnológico (SINGH et al., 2012). Embora é importante avaliar a sustentabilidade com um amplo conjunto de indicadores, pode ser difícil para a comparações entre as empresas com base num grande número de medições de desempenho.

Nesse contexto, com o objetivo de contribuir para as pesquisas na área de sustentabilidade, esse trabalho apresenta um conjunto de indicadores relativos de sustentabilidade para a avaliação do setor de eletricidade. E, por conseguinte, a análise de agrupamentos é aplicada para dividir o conjunto de empresas em grupos homogêneos, segundo algum critério conveniente de similaridade, explorado nesse trabalho.

Dado que, atualmente, o *Global Reporting Initiative* (GRI) é padrão mais utilizado para relatórios de sustentabilidade em todo o mundo (ROCA; SEARCY, 2012; ERECHTCHOUKOVA; KHAITER, 2013), usou-se dos indicadores presentes nos relatórios para as empresas pertencentes ao grupo dos países com os maiores PIBs em 2012.

Justifica-se a importância do setor de eletricidade no cenário internacional, dado que estimativas apontam para a triplicação do consumo de energia ao longo do século XXI (GEO 5, 2014). Atualmente, a eletricidade é um dos recursos mais importantes para o desenvolvimento econômico de um país, e ao mesmo tempo uma das preocupações mais relevantes em todo o mundo devido ao esgotamento rápido de combustíveis não renováveis, o aquecimento global e a mudança climática (BREEZE, 2014) Ao mesmo tempo em que esse setor funciona como um motor de desenvolvimento social e econômico, produz um alto nível

de impacto devido ao rápido esgotamento de combustíveis não-renováveis, aquecimento global e a mudança climática (LIRA-BARRAGAN et al., 2014).

O presente artigo está estruturado em cinco seções. Além da introdução, esse artigo apresenta as seções de revisão de literatura, método, resultados e discussões, e por fim, as considerações finais.

## **2. SUSTENTABILIDADE**

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) definiu o desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. A discussão sobre a sustentabilidade tomou uma direção em 1992, no Rio de Janeiro, com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD). A Agenda 21 foi um dos principais resultados, no qual foi estabelecida a importância de cada país a se comprometer a refletir sobre os problemas socioambientais e as soluções.

Em anos recentes, muitas definições foram dadas para sustentabilidade. Por exemplo, significa o consumo de recursos com pouco impacto adverso interno ou externo (MORIK; BHADURI; KARGUPTA, 2012). A sustentabilidade significa continuar (como na existência ou um determinado estado, vigor ou intensidade), manter-se (especialmente sem diminuição, interrupção, sinalização, etc.) ou prolongar-se (HASNA, 2010). Sustentabilidade é uma característica de sistemas dinâmicos que se mantêm ao longo do tempo (SAMIMI et al., 2011).

A sustentabilidade empresarial, que é foco do presente trabalho, pode ser considerada uma estratégia de negócios e de investimento que busca utilizar as melhores práticas de negócios para atender e equilibrar as necessidades das partes interessadas atuais e futuras (ARTIACH et al., 2010). A avaliação de desempenho empresarial mede a extensão ao qual uma empresa abraça os fatores econômicos, ambientais e sociais em suas operações e, finalmente, o impacto que exercem sobre a empresa e a sociedade. O próprio processo de avaliação de sustentabilidade pode ajudar a identificar situações que podem ser melhorados, especialmente quando os elementos de sustentabilidade (ou seja, os indicadores) podem ser distinguidos e comparados (MORI; CHRISTODOULOU, 2012).

Existem várias razões pelas quais a avaliação da sustentabilidade é importante: (i) A contribuição da empresa para a intenção e os princípios do desenvolvimento sustentável (BAUMGARTNER, 2008); (ii) Realizar comparações, identificar tendências e futuros possíveis (BOSSSEL, 1999); (iii) Encontrar práticas adequadas e aplicáveis que possam ajudar a reduzir o impacto negativo de qualquer problema na sociedade de forma mais eficiente e realista (ESTRADA; YAP, 2013).

Um dos métodos mais comuns para a avaliação de desempenho é o uso de indicadores. Os indicadores demandam informações específicas, qualitativas ou quantitativas, no que diz respeito ao resultado financeiro e não-financeiro e, geralmente comparáveis e capazes de demonstrar a mudança cronologicamente (GRI, 2011). Os indicadores são definidos como variáveis, parâmetros, medidas estatísticas, etc. (VELEVA; ELLENBECKER, 2001). O seu papel é indicar o progresso em direção ou para longe de alguns objetivos comuns, a fim de aconselhar o público e os tomadores de decisão acerca dos principais impactos e o desempenho da sustentabilidade.

Os indicadores permitem a identificação de opções sustentáveis ao comparar produtos e organizações, classificar as empresas do mesmo setor e avaliar o progresso para o desenvolvimento sustentável de um setor (AZAPAGIC; PERDAN, 2000). A esse respeito, é

recomendado o uso de indicadores absolutos ou relativos. Os indicadores absolutos e relativos podem ser expressos em unidades naturais (massa ou volume) e em unidades monetárias (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2009). Os indicadores relativos permitem observar as mudanças dos valores específicos em relação a um denominador comum, por exemplo, poluição emitida por unidade de produção.

Veleva e Ellenbecker (2001) propuseram as seguintes etapas para o entendimento e coleta dos indicadores: (i) Unidade de medida: números, quilogramas, toneladas, dólares, por cento, hora, etc; (ii) Tipo de medição: a quantidade pode ser absoluta (ex.: energia utilizada por ano em kWh) ou quantidade relativa (energia utilizada em relação à unidade de produto); (iii) Período de medição: o período de cálculo pode ser fiscal, ano civil, meses, etc; (iv) Limites: determina até onde uma empresa deseja mensurar os indicadores (instalações, ciclo de vida de um material ou produto, etc). Combinar os indicadores das dimensões ambientais, econômicas e sociais e avaliar esses indicadores em conjunto é uma prática para medir a sustentabilidade em uma escala muito maior do que os indicadores individuais.

Por fim, a avaliação de sustentabilidade não termina com a seleção desenvolvimento de indicadores de desempenho (STANISKIS; ARBAČIAUSKAS, 2009). No processo de medição, as variáveis relacionadas à sustentabilidade são identificados, os dados são coletados e analisados com métodos tecnicamente apropriados (POVEDA; LIPSETT, 2011). Portanto, é importante usar de algum método para a comparação dos indicadores ou mesmo da amostra. Por exemplo, com a Análise de Cluster é possível identificar padrões de comportamento entre as empresas com base nos dados coletados e a partir disso dividi-los em grupos (clusters) de acordo com o índice de similaridade.

Encontrar um instrumento de avaliação é essencial combinar a teoria com a prática. Embora os mecanismos existentes para a avaliação oferecer alternativas úteis para pessoas acadêmicas e profissionais, respostas claras ainda precisam ser encontrados em relação a contribuição das empresas para a sustentabilidade.

### 3. MÉTODO

A identificação dos critérios e os respectivos indicadores basearam-se nos relatórios de sustentabilidade com base nas diretrizes da *Global Reporting Initiative* (GRI), publicados no *website* <http://database.globalreporting.org/>. As diretrizes da GRI são formadas por 79 indicadores de desempenho de sustentabilidade, organizada nas categorias econômica, ambiental e social. São três os tipos de indicadores: essenciais, adicionais e setoriais. Apenas os indicadores essenciais foram considerados, pois, são considerados relevantes e identificados como de interesse da maioria dos *stakeholders* (GRI, 2011).

Para a determinação da amostra, delimitou-se:

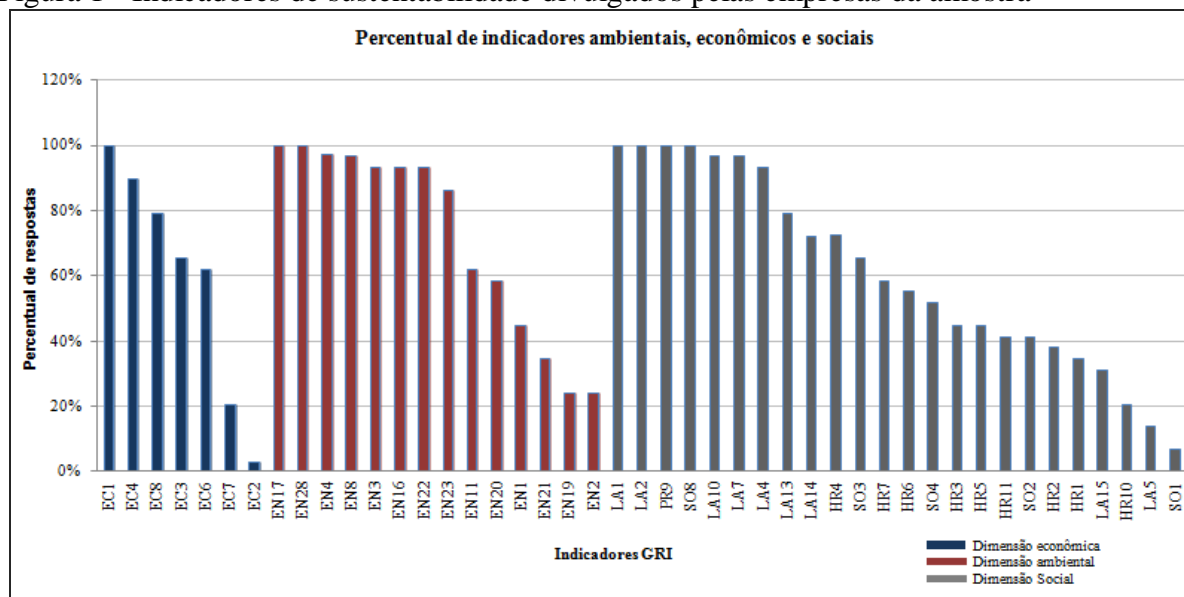
- (i) O setor de energia, dada representatividade dos relatórios divulgados pelas empresas mundiais;
- (ii) As empresas pertencentes ao grupo dos países com os maiores PIBs em 2012, pois essas economias representam 80% da economia global (WORLD BANK, 2014);
- (iii) O nível de aplicação (A+, B+);
- (iv) O idioma inglês ou português;
- (v) Foram excluídas da amostra holding e aquelas com múltiplas atividades e operações.

As 29 empresas incluídas na amostra final pertencem ao setor de eletricidade, sem nenhuma outra forma de serviço (aquecimento, fornecimento de água ou gás). A Figura 1 apresenta o percentual dos indicadores divulgados em cada dimensão (econômica, ambiental social). Considerando o total de indicadores quantitativos identificados nos

relatórios da amostra, apenas 7 indicadores atingiram 100% de resposta. O maior nível de resposta (entre 60%-100%) está, respectivamente, na dimensão econômica (71%), ambiental (64%), e social (45%).

A ausência de dados completos para muitos indicadores não permite a comparabilidade por meio de um amplo conjunto de dados. Nesse caso, o uso de variáveis de proxy devem ser consideradas quando os dados são escassos ou faltantes (NARDO et al., 2008). Portanto, a seleção das variáveis constitui a terceira etapa do trabalho.

Figura 1 - Indicadores de sustentabilidade divulgados pelas empresas da amostra



A primeira proxy está relacionada ao indicador EC2, portanto, foi considerado o indicador “investimentos realizados em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para a geração de energia sustentável e inovação no setor”, uma vez que as empresas reportam esse dado. Por conseguinte, foi possível identificar proxies para os dados faltantes relacionados aos seguintes indicadores: LA10, LA13, LA14, EN3, EN8, EN11, EN16, EN22, EN23. Os dados foram retirados dos relatórios de 2011 e 2013. Para o indicador LA7, a proxy foi identificada a partir das estatísticas da Organização Internacional do Trabalho (ILO), disponível no website <http://www.ilo.org/global/topics/lang--en/index.htm>. Para o indicador LA4, o valor da proxy se refere à média mundial em 2010, disponível no website <http://www.stateofworkingamerica.org/fact-sheets/collective-bargaining/>.

Foram eliminadas as variáveis com dados faltantes acima de 10% (BENNETT, 2001). Como resultado da análise dos indicadores, a amostra final totalizou em 20 indicadores. Assim, foram selecionados os indicadores com base na disponibilidade de dados, qualidade de dados e abrangem as preocupações específicas para com o setor de eletricidade.

Na etapa seguinte, foram determinados os rácios para cada um dos indicadores selecionados com base nas relações estabelecidas na literatura e usualmente apresentados pelo setor de eletricidade. A incorporação apropriada dos indicadores relativos (ou rácios) pode ser implementada ao separar o numerador e o denominador, no qual, trata-se o input como o numerador e o output como o denominador (DYSON et al., 2001).

Seis indicadores comuns foram colocados junto, uma vez que são apresentados de forma integrada nos procedimentos tradicionais de uma empresa (AZAPAGIC; MILLINGTON; COLLETT, 2006), resultando em três novos indicadores: (i) Indicador EN28 + Indicador SO8 + Indicador PR9 = valor monetário de multas resultantes da não conformidade com leis e regulamentos (Aspecto Conformidade); (ii) Indicador EN3 +

Indicador EN4 = Consumo de energia direta e indireta (Aspecto Energia); e, (iii) Indicador EN16 + Indicador EN17 = Total das emissões diretas e indiretas de gases causadores do efeito estufa (Aspecto Emissões). Por conseguinte, totalizou 14 rácios de sustentabilidade que reflete as três dimensões (ambiental, econômico e social), apresentados a seguir, conforme Quadro 1.

**Quadro 1 - Formação dos indicadores relativos de sustentabilidade**

<b>GRI</b>	<b>Tema</b>	<b>Indicador Relativo de sustentabilidade</b>	<b>Fonte<sup>1</sup></b>
<b>Dimensão Social</b>			
LA1, LA10	Treinamento e desenvolvimento	TREI - Média de horas de treinamento por ano	(1), (2)
LA1, LA2	Situação do emprego	TURN - Taxa de rotatividade da organização no período coberto	(1), (3), (4)
LA1, LA4	Relações trabalhistas	COLE - Percentual de empregados abrangidos por negociação coletiva	(1), (5)
LA1, LA7	Saúde e segurança	LESO - Taxa de lesões para a força de trabalho total	(1), (6)
LA1, LA13	Igualdade de oportunidades	IOPO - Percentual de homens responsáveis pela gerência em relação ao número de mulheres que ocupam o mesmo cargo	(1), (7)
LA1, LA14	Igualdade de remuneração	IREM - Proporção do salário base das mulheres responsáveis pela gerência em relação ao salário dos homens que ocupam o mesmo cargo	(1), (8)
<b>Dimensão Econômica</b>			
EC1, EC2	Pesquisa e Desenvolvimento	IPED - Intensidade dos investimentos em P&D em relação ao valor adicionado	(9), (10), (11)
EC1, EC8	Impactos Econômicos Indiretos	INFR - Investimentos em infraestrutura em comunidades locais em relação ao valor adicionado	(12)
PR9, EN1, SO8	Conformidade com leis e regulamentos	CUSC - Custos por não conformidade em relação à eletricidade gerada	(13), (14), (15)
<b>Dimensão ambiental</b>			
EN3, EN4, EC1	Energia	COEN - Consumo de energia por eletricidade gerada	(16), (17)
EN8	Água	COAG - Intensidade de consumo de água por eletricidade gerada	(18), (19), (20)
EN16, EN17	Emissões	EGEE - Emissões de gases de efeito estufa em relação à eletricidade gerada	(12), (18), (21)
EN22	Resíduos	RESO - Geração de resíduos sólidos em relação à eletricidade gerada	(22), (23)
EN23	Acidentes Ambientais	DERR - Volume de derramamentos em relação à eletricidade gerada	(12)

<sup>1</sup>Fonte: (1) GRI, 2011; (2) Medel-González et al., 2013; (3) Bebbington; Gray 2001; (4) Icheme, 2005; (5) Li et al., 2014; (6) OECD, 2011; (7) Young, 2004; (8) UNECE, 2014; (9) OECD, 2009; (10) Carraro et al., 2013; (11) Kayal, 2015, (12) Krajnc, Glavic, 2005; (13) Oliveira et al., 2008; (14) Duzgun, Komurgoz, 2014; (15) Mainali, Silveira, 2015; (16) Icheme, 2002; (17) Andrade Silva, Guerra, 2009; (18) Feng et al., 2014; (19) Liu et al., 2015; (20) Mertens et al. 2015, (21) Begic, Afgan, 2007; (22) IAEA, 2005; (23) Sharma, Balachandra, 2015.

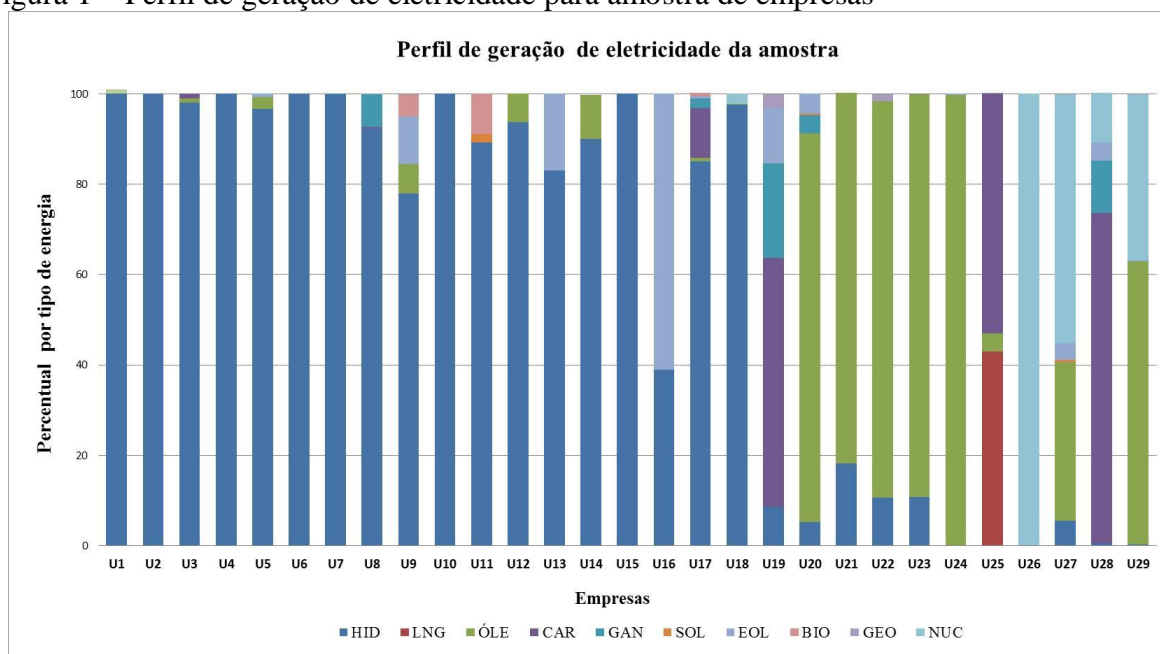
A fim de explorar as características estruturais da amostra selecionada, e dada a quantidade de indicadores (variáveis) analisadas nas empresas (29) optou-se por analisá-las de forma conjunta, agrupando as empresas de acordo com a similaridade de seus indicadores, constituindo a última etapa da pesquisa. Para tanto, foi empregada a técnica estatística multivariada análise de agrupamentos (*cluster analysis*) que tem por objetivo agregar observações de acordo com suas características, resultando em grupos com homogeneidade interna e heterogeneidade externa (HAIR Jr et al., 2005).

Foi utilizada a análise de agrupamentos hierárquico em razão de apresentar seu resultado na forma gráfica, o dendograma (ou árvore de classificação). Além disso, utiliza-se o método de agrupamento de Ward, também denominado de “*minimum variance method*”, que busca a criação de agrupamentos a partir da minimização da variância interna do agrupamento (BLASHFIELD, 1976). A partir da identificação de grupos de empresas com similaridade de desempenho dos seus indicadores, procede-se a comparação de quais destes indicadores possuem diferença significativa, ao nível de 5%, entre os agrupamentos de empresas obtidos. Para tanto, utiliza-se teste comparativo de medianas não paramétricas de Mann-Whitney, visto que diversos destes indicadores não possuem aderência a distribuição normal.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

A presente pesquisa faz uso de um conjunto de dados para 29 companhias que operam em 8 países (dados para o ano de 2012). A Figura 1 apresenta o perfil de geração de eletricidade para essa amostra de empresas em termos do perfil da geração. O grupo de empresas de geração de energia elétrica é composto por um mix de energias. Destaca-se a predominância de hidroeletricidade (58,7%), óleo (19,8%), nuclear (7,07%), carvão (4,15%), eólica (3,8) e solar (3,1%). A geração por hidroeletricidade é predominante nas empresas brasileiras, uma vez que a existência de grandes rios de planalto, alimentados por chuvas tropicais abundantes constituem uma das maiores reservas de água doce do mundo.

Figura 1 – Perfil de geração de eletricidade para amostra de empresas



Legenda: HID: hidroeletricidade; LNG: gás liquefeito de petróleo; OLE: óleo; CAR: carvão; GAN: gás natural; SOL: Solar; EOL: Eólica; BIO: biomassa; GEO: Geotérmica; NUC: Nuclear.



**TABELA 1 – Resumo estatístico para os indicadores da amostra**

	<b>Média</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Dimensão Social</b>				
TREI	55.93	35.47	134	7
TURN	5.26	4.45	22.07	0.15
COLE	0.87	0.25	1	0.29
LESO	2.15	2.07	8.9	0
IOPO	0.85	0.067	1	0.69
IREM	0.94	0.16	1.56	0.72
<b>Dimensão Econômica</b>				
IPED	4.30	11.90	54.80	9.00 E-04
INFR	2.27	3.41	10.67	0
CUSC 9	0.070	0.16	0.69	0
<b>Dimensão Ambiental</b>				
COEN	2.26	4.93	21.47	1.38E-04
CAGU	0.10	0.165	0.85	5.47 E-04
EGEE	0.33	0.45	1.57	2.12E-05
RESO	0.040	0.13	0.71	2.01E-06
DERR	0.00099	0.0045	0.024	0

Em relação ao desvio-padrão, que representa o desvio típico dos dados em relação à média, destacam-se alguns indicadores. Por exemplo, o indicador COEN, significa que quanto maior o desvio-padrão, mais diferentes entre si são as quantidades de consumo de energia de cada empresa. A partir das estatísticas descritivas, percebe-se que o conjunto de dados abrange diferentes perfis de geração de eletricidade, uma vez que compreendem diferentes combustíveis para a geração de eletricidade.

Outros dois indicadores com alto desvio padrão são TREI e IPED. A empresa brasileira (U8) apresentou 7 horas de treinamento anual, enquanto a empresa russa (U26) ofereceu 132 horas de treinamento anual. Destaca-se uma empresa brasileira (U14) no quesito Investimentos em pesquisa e desenvolvimento,

A terceira análise compreende a Figura 2, sendo que o eixo horizontal representa a amostra e, no eixo vertical os pontos de similaridade. O dendograma mostra a formação de dois grandes agrupamentos (grupo 1 e grupo 2), no qual as separações entre os mesmos apresentam grandes distâncias (o que se traduz em barras de junção de classes relativamente compridas). Isso reflete a heterogeneidade entre os dois grupos. O agrupamento 2 é formado por empresas de diversos países, como três americanas e uma canadense, duas Coreanas, duas brasileiras, uma indiana e uma russa. A maior diferença entre os dois grandes grupos se deve ao tipo de geração de eletricidade: no primeiro grupo (1) há predominância de energia renovável, enquanto no segundo grupo (2) há predominância de energia não renovável.

O segundo ponto a analisar é a homogeneidade interna dos grupos, portanto, quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. O grupo 1 é formado por 19 empresas e o grupo 2, formado por 10 empresas. As maiores similaridades são descritas a seguir.

Observa-se que as empresas U17 (Brasil) e U21 (Indonésia) são muito semelhantes nos indicadores TURN, INFR, CUSC, COAG, DERR, assim como na quantidade de energia gerada. Desta forma pode se dizer que apesar da diferença do tipo de energia (renovável e não-renovável) e de serem países culturalmente distintos, encontram-se inúmeras similaridades que abrangem todas as dimensões da sustentabilidade.

As empresas U12 (Brasil) e U22 (Indonésia) são semelhantes na dimensão social, destacando os indicadores COLE e IOPO, o que pode significar que apesar de apresentarem alta discrepância quanto ao porte e estarem situadas em países culturalmente distintos, ambas

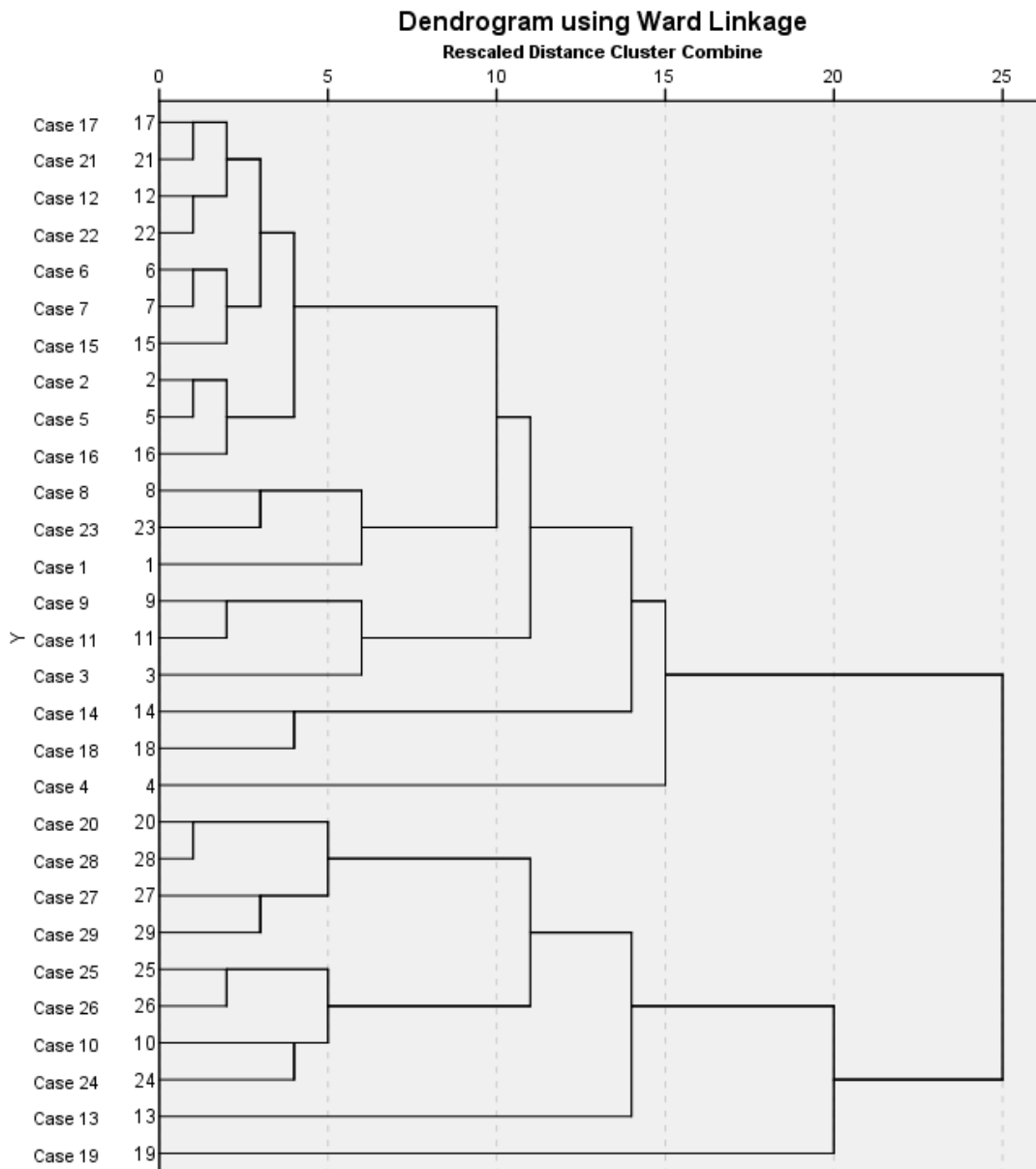
expressam igualdade no equilíbrio da quantidade de gerentes de acordo com o gênero, além de possuírem colaboradores abrangidos por negociação coletiva.

As empresas U6 e U7 são semelhantes em relação ao consumo de água e energia, podendo estar associado ao tipo de geração, que é 100% hidroeletricidade. Ambas são empresas brasileiras, a primeira com sede em São Paulo e a segunda com sede em Recife.

As empresas U2 e U5, ambas brasileiras situadas no Rio Grande do Sul e Minas Gerais respectivamente, são semelhantes nos indicadores sociais TREI, COLE, IOPO e IREM, enquanto que na dimensão ambiental são semelhantes no consumo de água, porém a empresa gaúcha ainda se sobressai de maneira positiva nos demais indicadores.

Por fim, as empresas U20 e U28 são semelhantes no indicador COLE e IOPO. Na dimensão econômica, são semelhantes no indicador IPED. Na área ambiental, são praticamente iguais na emissão de gases de efeito estufa. Isso se deve ao tipo de energia usada para a geração de eletricidade: (i) a U20, com operações na Índia, gera a maior parte da eletricidade por meio da queima de óleo (86%); e, (ii) a U28, empresa está situada nos Estados Unidos, gera eletricidade por meio do carvão (73%) e energia nuclear (12%).

Figura 2 - Dendrograma (método de Ward)



Conforme Tabela 2, o teste de Mann-Whitney comparou os dois grupos não pareados para se verificar se pertencem ou não à mesma população e cujos requisitos para aplicação do teste t de *Student* não foram cumpridos. Na verdade, verifica-se se há evidências para acreditar que valores de um grupo 1 são superiores aos valores do grupo 2. O teste U pode ser considerado a versão não paramétrica do teste t, para amostras independentes. Ao contrário do teste t, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann-Whitney (U) testa a igualdade das medianas. Os valores de U calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas.

Tabela 2 - Análise descritiva dos indicadores entre os grupos identificados e teste de mediana de Mann-Whitney

	Média		Mediana		Min		Max		Teste Mann-Whitney
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	P valor
	n=19	n=10	n=19	n=10	n=19	n=10	n=19	n=10	
TREI_1	41,36	83,60	36,00	88,50	7,00	10,00	84,00	134,00	0,005**
TURN_2	5,60	4,60	4,78	4,50	0,64	0,15	22,07	10,82	0,001**
COLE_3	0,97	0,64	1,00	0,60	0,84	0,29	1,00	1,00	0,854
LESO_4	2,36	1,74	2,38	1,07	0,00	0,19	8,90	5,14	0,598
IOPO_5	0,85	0,85	0,86	0,87	0,78	0,69	1,00	0,97	0,890
IREM_6	0,94	0,94	0,89	1,00	0,72	0,80	1,56	1,05	0,384
IPED_7	6,30	0,48	0,46	0,15	0,00	0,00	54,81	2,39	0,119
INFR_8	2,00	2,77	0,44	0,63	0,00	0,00	10,56	10,68	0,927
CUSC_9	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,06	0,665
COEN_10	0,47	5,65	0,02	1,88	0,00	0,05	5,27	21,47	0,002**
COAG_11	0,06	0,17	0,04	0,08	0,00	0,00	0,17	0,85	0,313
EGEE_12	0,08	0,78	0,02	0,69	0,00	0,06	0,51	1,57	0,000**
RESO_13	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,71	0,195
DERR_14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,769

\*significante a 5% \*\*significante a 1%

É possível identificar padrões de comportamento que apresentaram uma maior variabilidade dentro da amostra: TREI, TURN, COEN e EGEE. São essas as variáveis mais significativas para a divisão dos dois grupos, sendo que seus valores podem ser tanto maior (quanto mais, melhor) e menor (quanto menos, melhor) para ser caracterizado mais ‘sustentável’. Entretanto, cada grupo se destaca em uma dimensão distinta. Enquanto o Grupo 2 se destacou na dimensão social com os indicadores “média de horas de treinamento dos colaboradores e menor *turnover*”, o Grupo 1 teve um melhor desempenho com os indicadores ambientais, destacando a eficiência energética e menor emissão de gases de efeito estufa.

Frente a esses resultados, algumas empresas sobressaem-se na sustentabilidade, antecipando-se aos riscos e pressões ambientais, que causarão alterações não só nas paisagens físicas, mas também nas condições sociais e econômicas. Muitos são os riscos empresariais, por exemplo:

- (i) A oferta limitada e aumento nos custos dos combustíveis fósseis;
- (ii) Limites à geração de eletricidade devido à escassez de água e potenciais conflitos com usuários competidores por recursos hídricos limitados;
- (iii) Ameaça ao atual modelo de negócios devido a ações regulatórias e normativas;
- (iv) Legislação mais rigorosa sobre emissão de gases de efeito estufa, qualidade do ar, descarga de efluentes líquidos e localização de usinas de energia.

Antecipando-se aos riscos futuros, é importante o desenvolvimento e adaptação dos negócios para o aumento da demanda por eletricidade renovável e de baixa emissão de carbono, bem como, o uso de serviços energeticamente eficientes. Com isso, continuar a mitigar os impactos dos negócios sobre o meio ambiente e a sociedade.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos últimos anos, muitas pesquisas e relatórios influentes foram publicados acerca da importância da sustentabilidade e do desenvolvimento sustentável para as práticas dos negócios. As discussões a cerca da sustentabilidade são movidas pela noção básica de que o desempenho de uma empresa deve ser avaliado não apenas pelos lucros, mas também em relação aos impactos ambientais e sociais.

Na presente pesquisa, os indicadores da *Global Reporting Initiative* (GRI) foram identificados e analisados conforme a formação de indicadores relativos e a análise de agrupamentos para o setor de eletricidade.

O desempenho dos indicadores de sustentabilidade foi correspondente a formação de dois grandes grupos, composto por empresas de diferentes países. Embora o grupo 1 seja formado por empresas de geração eletricidade com predominância de fonte renovável, no grupo 2 há predominância de empresas que usam de fontes não renováveis. As diferenças mais óbvias com relação aos dois grupos estão: (i) grupo 2, na dimensão social (treinamento anual dos colaboradores e menor *turnover*) e (ii) grupo 1, na dimensão ambiental (eficiência energética e emissão de gases de efeito estufa). Portanto, sugere-se a implementação de tecnologias de produção mais limpa para as empresas do grupo 2, uma vez que apresentaram diferenças significativas e superiores ao grupo 1 na dimensão ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE SILVA, Fabiano; GUERRA, Sinclair. Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector-1995 to 2005. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n.9, p.2589-2596, 2009.

ANDRADE SILVA, Fabiano; GUERRA, Sinclair. Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector-1995 to 2005. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n.9, p.2589-2596, 2009.

ARTIACH, Tracy; LEE, Darren; NELSON, David; WALKER, Julie. The determinants of corporate sustainability performance. **Accounting and Finance**, v.50, n.1, p.31-51, 2010.

AŞICI, Ahmet Atıl. Economic growth and its impact on environment: A panel data analysis. **Ecological Indicators**, v.24, n.0, p.324-333, 2013.

AZAPAGIC, Adisa; MILLINGTON, Allan; COLLETT, Aaron. A methodology for integrating sustainability considerations into process design. **Chemical Engineering Research and Design**, v.84, n.6, p.439-452, 2006.

AZAPAGIC, Adisa; PERDAN, Slobodan. Indicators of sustainable development for industry: A general framework. **Process Safety and Environmental Protection**, v.78, n.4, p.243-261, 2000.

BAUMGARTNER, Rupert. Corporate sustainability performance: Methods and illustrative examples. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v.3, n.2, p.117-131, 2008.

BEBBINGTON, Jan; GRAY, Rob. An account of sustainability: Failure, success and a reconceptualization. **Critical perspectives on accounting**, v. 12, n. 5, p. 557-588, 2001.

BEGIĆ, Fajik; AFGAN, Naim. Sustainability Assessment Tool for the Decision Making in Selection of Energy System-Bosnian Case. **Energy**, v.32, n.10, p.1979-1985, 2007.

BENNETT, Derrick. How can I deal with missing data in my study? **Australian and New Zealand Journal of Public Health**, v.25, p.464-469, 2001.

BLASHFIELD, Roger. Mixture model tests of cluster analysis: Accuracy of four agglomerative hierarchical methods. **Psychological Bulletin**, v.83, n.3, 377-388, 1976.

BOSSEL, Hartmut. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications**. International Institute for SustainableDevelopment Winnipeg, Canada, 1999.

BREEZE, Paul. **Power Generation Technologies**. Second Edition: Elsevier, London 2014.

CARRARO, Carlo; CAMPAGNOLO, Lorenza; EBOLI, Fabio et al. **The FEEM Sustainability Index: An Integrated Tool for sustainability Assessment**. In: Erechchoukova, M.G. et al. (eds.). Sustainability Appraisal: Quantitative Methods and Mathematical Techniques for Environmental Performance Evaluation, 2013.

DUZGUN, Bilal; KOMURGOZ, Gerçek. Turkey's energy efficiency assessment: White Certificates Systems and their applicability in Turkey. **Energy Policy**, v.65, p.465-474, 2014.

DYSON, Robert; ALLE, Rachel; CAMANHO, Ana et al. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, v.132, n.2, p.245-259, 2001.

ERECHTCHOUKOVA, Marina; KHAITER, Peter. **Dimensions of sustainability appraisal**. In: Erechchoukova, M.G. et al. (eds.). Sustainability Appraisal: Quantitative Methods and Mathematical Techniques for Environmental Performance Evaluation, 2013.

ESTRADA, Mario; YAP, Su. The origins and evolution of policy modeling. **Journal of Policy Modeling**, v.35, n.1, p.170-182, 2013.

FENG, Kuishuang; HUBACEK, Klaus; SIU, Yim et al. The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.39, p.342-355, 2014.

GEO 5. **Environment for the future we wan**. Neeyati Patel, 2014.

GRI. **G3.1 and G3 Guidelines 2011**. Disponível em:  
<<https://www.globalreporting.org/reporting/G3andG3-1/Pages/default.aspx>>. Acesso: 13 set. 2013.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Multivariate Data Analysis**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

HASNA, Abdallah. Sustainability classifications in engineering: discipline and approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, v.3, n.4, p.258-276, 2010.

IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. International Atomic Energy Agency, 2005.

ICHEME. **The Sustainability Metrics**. The Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK, 2002.

ICHEME. **Sustainability development progress metrics**. The Institution of Chemical Engineers, 2005.

KAYAL, Aymen. **R&D Intensity: An empirical analysis of its relation to the structure of the manufacturing sector in OECD countries**. Disponível em:  
<<http://ssrn.com/abstract=2577996>>. Acesso: 18 Jan. 2015.

KIDD, Charles. The Evolution of Sustainability. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v.5, n.1, p.1-26, 1992.

KRAJNC, Damjan; GLAVIČ, Peter. How to compare companies on relevant dimensions of sustainability. **Ecological Economics**, v. 55, n. 4, p. 551-563, 2005.

LI, Yuqiang; LIAO, Shengming; RAO, Zhenghua; LIU, Gang. A Dynamic Assessment Based Feasibility Study of Concentrating Solar Power in China. **Renewable Energy**, v.69, p.34-42, 2014.

LIRA-BARRAGAN Luis Fernando; PONCE-ORTEGA, Jose; SERNA-GONZALEZ, Medardo; EL-HALWAGI, Mahmoud. Optimal design of process energy systems integrating sustainable considerations. **Energy**, v.76, p.139-160, 2014.

LIU, Lu; HEJAZI, Mohamad; PATEL, Pralit et al. Water demands for electricity generation in the US: Modeling different scenarios for the water–energy nexus. **Technological Forecasting and Social Change**, v.94, p.318-334, 2015.

MAINALI, Brijesh; SILVEIRA, Semida. Using a sustainability index to assess energy technologies for rural electrification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 1351-1365, 2015.

MEDEL-GONZÁLEZ, F.; GARCIA-ÁVILA, L.; ACOSTA-BELTRÁN, A.; HERNÁNDEZ, C. **Measuring and evaluating business sustainability: development and application of corporate index of sustainability performance**. In: Erechchoukova, M.G. et al. (eds.).

Sustainability Appraisal: Quantitative Methods and Mathematical Techniques for Environmental Performance Evaluation, 2013.

MERTENS, Jan; PRIEUR-VERNAT, Anne; CORBISIER, Dominique; FAVROT, Elsa; BOON, Gustaaf. Water footprinting of electricity generated by combined cycle gas turbines using different cooling technologies: a practitioner's experience. **Journal of Cleaner Production**, v.86, p.201-208, 2015.

MORI, Koichiro; CHRISTODOULOU, Aris. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). **Environmental Impact Assessment Review**, v.32, n.1, p.94-106, 2012.

MORIK, Ktharina; KANISHKA, Bhaduri; KARGUPTA, Hillol. Introduction to Data Mining for Sustainability. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v.24, n.2, p.311-324, 2012.

NARDO, Michela; SAISANA, Michaela; SALTELLI, Andrea et al. **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide**. OECD Statistics working paper series, 2005.

NESS, Barry; URBEL-PIIRSALU, Evelin; ANDERBERG, Stefan; OLSSON, Lennart. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, v.60, n.3, p.498-508, 2007.

OECD. **Science, Technology and Industry Scoreboard 2009**, OECD Publishing, 2009.

OECD. Giving Knowledge for Free. Centre for Educational Research and Innovation. 2011. Disponível em <<http://www.oecd.org/edu/ceri/38654317.pdf>>. Acesso: 12 de maio de 2015.

OLIVEIRA, Luciano Basto; MUYLAERT DE ARAUJO, Maria Silvia; ROSA, Luiz Pinguelli et al. Analysis of the Sustainability of Using Wastes in the Brazilian Power Industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, n.3, p.883-890, 2008.

POVEDA, Cesar; LIPSETT, Michael A Review of Sustainability Assessment and Sustainability/Environmental Rating Systems and Credit Weighting Tools. **Journal of Sustainable Development**, v.4, n.6, 2011.

ROCA, Laurence Clément; SEARCY, Cory. An analysis of indicators disclosed in corporate sustainability reports. **Journal of Cleaner Production**, v.20, n.1, p.103-118, 2012.

SAMIMI, Ahmad Jafari; GHADERI, Saman; AHMADPOUR, Mohiddin. Environmental Sustainability and Economic Growth: Evidence from Some Developing Countries. **Advances in Environmental Biology**, v.5, n.5, p.961-966, 2011.

SARTORI, Simone; CAMPOS, Lucila Maria de Souza. **Analysis of Corporate Sustainability Assessment Tools and Operations Management**. POMS 25th Annual Conference, USA, 2013. Disponível em < <http://www.pomsmeetings.org/confpapers/051/051-0426.pdf> >

SHARMA, Tarun, BALACHANDRA, P. Benchmarking sustainability of Indian electricity system: An indicator approach. **Applied Energy**, v.142, p.206-220, 2015.

SINGH, Rajesh; MURTY, Keshava; GUPTA, Satyandra; DIKSHIT, Anil. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, v.9, n.15, p.89-212, 2012.

STANIŠKIS, Jurgis; ARBAČIAUSKAS, Valdas. Sustainability Performance Indicators for Industrial Enterprise Management. **Environmental Research, Engineering and Management**, n.2, v.48, p.42-50, 2009.

UNECE. **Conference of European statisticians recommendations on measuring sustainable development**, 2014. Disponível em: [http://www.unece.org/publications/ces\\_sust\\_development.html](http://www.unece.org/publications/ces_sust_development.html). Acesso: 01 de maio de 2015.

UNEP. *Global Environment Outlook-5: Environment for the future we want*. 2012. Disponível em < [http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5\\_FrontMatter.pdf](http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_FrontMatter.pdf)>. Acesso: 23 de fevereiro de 2015.

VELEVA, Vesela, ELLENBECKER, Michael. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 6, p. 519-549, 2001.

WORLD BANK. **Indicators**, 2014. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator>>. Acesso: 18 de novembro de 2014.

YOUNG, Ricardo. Dilemmas and advances in corporate social responsibility in Brazil. The work of the Ethos Institute. **Natural Resources Forum**, v.28, n.4, p.291301, 2004.