

Correlações de *Pearson* entre o Consumo de Energia Elétrica e os Índices de Desenvolvimento Humano e Econômico

Émerson Feix Vaz*. Felix Alberto Farret.*

*Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP), Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria - RS (e-mails: feixvaz@hotmail.com, ffarret@gmail.com).

Abstract: The methodology used in Brazil for projection of the expansion of electricity demand is related to the projection of the economic and demographic growth. Therefore, this paper presents an analysis with an introduction to human development as a determinant factor for the projection of demand expansion, as well as to expose its Pearson correlations in analyzes of twenty countries selected at random, ten developing countries and ten developed countries. It was proven by statistical methods that there are some correlations between electricity consumption and human and economic development for developing countries. Nevertheless, there is a saturation point in these correlations, which can be observed in developed countries. With Pearson's correlations, it is possible to measure some characteristic equations for the data analyzed. Therefore, it is possible to generate an evolution forecast or return in the indicators selected for developing countries. Currently, Brazil is classified as High human development. To progress its classification from High to Very High human development, Brazil must have an evolution in the electricity consumption per capita of 15.1% with respect to 2017 data.

Resumo: A metodologia empregada no Brasil para a projeção da expansão de demanda de energia elétrica usa a projeção do crescimento econômico e o crescimento demográfico. Diante disso, buscou-se apresentar neste trabalho uma análise da introdução do desenvolvimento humano como determinante para a projeção da expansão de demanda, bem como expor as correlações de *Pearson* para análises em vinte países selecionados aleatoriamente, dez países em desenvolvimento e dez países desenvolvidos. Comprovou-se por métodos estatísticos que existem correlações de consumo de energia elétrica com o desenvolvimento humano e o desenvolvimento econômico para países em desenvolvimento, porém existe um ponto de saturação nessas correlações, o que pode ser observada nos países desenvolvidos. Com as correlações de *Pearson* foi possível mensurar as equações características entre os dados analisados. Desta forma, foi possível gerar uma previsão da evolução ou regresso nos indicadores selecionados para os países em desenvolvimento. Atualmente, o Brasil é classificado com *Alto* desenvolvimento humano. Para progredir à classificação de *Alto* para *Muito Alto* é necessária uma evolução no consumo de energia elétrica *per capita* de 15,1% em relação aos dados de 2017.

Keywords: Human Development, Economic Development, Correlation, Pearson, Electricity.

Palavras-chaves: Desenvolvimento Humano, Desenvolvimento Econômico, Correlação, Pearson, Energia Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica é influenciado por inúmeros fatores inter-relacionados. Do ponto de vista técnico-científico a energia elétrica é o resultado da conversão de alguma outra forma de energia disponível na natureza conforme a *Lei da Conservação de Massas* (Lavoisier et al., 1789). Esta *Lei* tornou-se conhecida pela famosa frase: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

A utilização de fontes energia e as áreas de ação representam um marco para a espécie humana e a energia elétrica se destaca frente às demais (Smil, 2004). A indústria de energia elétrica é o maior e mais complexo sistema criado pelo ser humano, sendo considerado o maior feito de engenharia no século XX (Crow and Shetty, 2004).

É possível quantificar a qualidade de vida de uma nação pela relação de consumo da energia *per capita*. Quanto maior o consumo de energia, melhor será a qualidade de vida desta nação, principalmente nos países em desenvolvimento (Mazur, 2011), (Nadimi and Tokimatsu, 2018). A disponibilidade da energia elétrica é sinônimo de melhoria na qualidade de vida para as comunidades carentes em fatores como: acesso a serviços básicos, melhoria na produção agrícola, acesso a água encanada, geração de empregos e, conseqüentemente, no incremento de renda da população local (Bridge et al., 2016).

Num estudo realizado por (Ferguson et al., 2000), observou-se que existem fortes relações entre o consumo de energia elétrica e o desenvolvimento econômico. Ou seja, existem expressivas diferenças de consumo de energia elétrica entre países ricos e pobres. Uma forma de explicitar essas

diferenças é realizando uma análise entre a dimensão da economia de um país e o seu consumo de energia.

A capacidade de geração e a facilidade de acesso à energia elétrica pode ser uma das variáveis utilizadas para definir o nível de desenvolvimento de uma nação. Tais fatores estão diretamente relacionados com: crescimento econômico, desenvolvimento industrial, desenvolvimento tecnológico, sustentabilidade e desenvolvimento humano (Simabukulo et al., 2017). Os autores (Narayan et al., 2010) concluem que na grande maioria dos países a energia elétrica está diretamente relacionada com o seu desenvolvimento econômico. E no Brasil a projeção de expansão da demanda de energia elétrica é baseada nas análises de projeções do Produto Interno Bruto – PIB – e do aumento demográfico (Silva and Guimarães, 2012).

Neste trabalho, busca-se complementar a projeção de demanda de energia elétrica do Brasil com o uso do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. Bem como, mostrar as relações de consumo de energia elétrica com o IDH, com o PIB e com o consumo de energia de alguns países em desenvolvimento e desenvolvidos. Além disso, espera-se mensurar as correlações dos dados e suas equações características para o Brasil.

Os países utilizados neste artigo para as análises de dados foram selecionados de forma aleatória, do seguinte modo: dez países desenvolvidos, integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, e dez países em desenvolvimento, conforme classificação da (UN, 2019).

Os países em desenvolvimento selecionados para este artigo são: África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Brasil, China, Índia, Israel, México, Singapura e Uruguai. Os países desenvolvidos considerados são: Alemanha, Austrália, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Nova Zelândia, Reino Unido e Suíça.

2. CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de *Pearson* é um método estatístico utilizado para avaliar a força e a direção linear entre pares de variáveis. É um método utilizado para avaliar uma possível relação bidirecional entre os pares de variáveis (Mukaka, 2012). Nesta direção, afirma (Moore, 2007): “A correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas”. A relação linear entre duas variáveis pode ser definida como a semelhança na distribuição numérica de seus dados por pares.

O coeficiente de correlação *Pearson* “*r*” é um valor adimensional variável de -1 a 1 que representa a medida de variância entre duas variáveis. O valor adimensional negativo representa uma correlação de sentido imergente. No entanto, o valor adimensional positivo representa uma correlação emergente. A significância da correlação está relacionada com a variável “*p*”. Caso a correlação não seja significativa, esta é considerada desprezível. Quanto mais próximo a correlação for de ± 1 , mais forte será. A Equação (1) é

utilizada para encontrar o coeficiente de correlação de *Pearson* (Campbell, 1997).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum (x_i - \bar{X})^2 (\sum (y_i - \bar{Y})^2)]}} \quad (1)$$

Onde “*X*” representa as variáveis independentes e “*Y*” as variáveis dependentes. As variáveis “*x_i*” e “*y_i*” representam os valores da *i*-ésima individual de “*X*” e “*Y*”, respectivamente. A interpretação do coeficiente de correlação de *Pearson* considerada nesse estudo é mostrada na Tabela 1 (Hinkle et al., 2003).

Tabela 1. Interpretação dos coeficientes de correlação de *Pearson*.

Coeficiente <i>Pearson</i> “ <i>r</i> ”	Interpretação
±0,90 a ±1,00	Correlação positiva (negativa) muito alta
±0,70 a ±0,90	Alta correlação positiva (negativa)
±0,50 a ±0,70	Correlação positiva (negativa) moderada
±0,30 a ±0,50	Baixa correlação positiva (negativa)
±0,00 a ±0,30	Correlação insignificante

A correlação de consumo da energia elétrica *per capita*, PIB e o IDH foram citadas em diversas pesquisas como: (Leung and Meisen, 2005), (Silva and Guimarães, 2012), (Garcia, 2006) e (Goldemberg, 2001). O autor (Goldemberg, 2001), em seu trabalho destacou a importância do consumo da energia elétrica para a elevação dos níveis de IDH, principalmente nos países em desenvolvimento.

Os autores (Lambert et al., 2014) realizaram estudos sobre as consequências da disponibilidade da energia elétrica na sociedade para a análise dos indicadores de qualidade de vida. Os resultados dos estudos sugerem que a energia elétrica é altamente correlacionada com a qualidade de vida até um consumo *per capita* de 41,67 MWh anual. Após esse valor verifica-se a saturação dessa correlação.

Portanto, o nível de crescimento econômico está diretamente correlacionado com o nível de consumo de energia elétrica. Diga-se de passagem, que a energia elétrica tem influenciado no direcionamento de políticas econômicas em todo o mundo (Gadelha and Cerqueira, 2013).

3. EVOLUÇÃO MUNDIAL DO CONSUMO DE ENERGIA

A evolução mundial do consumo de energia elétrica pode ser dividida em dois grandes grupos: o grupo dos países integrantes da OCDE e o grupo restante do mundo. A OCDE é composta pelos 36 países mais ricos e desenvolvidos do mundo. Assim, pode-se realizar uma breve análise nos dados do período do ano de 1973 ao ano de 2017.

Segundo (IEA, 2019), no ano de 1973 o consumo de energia mundial foi de 4.659 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) e em 2017 o consumo foi de 9.717 Mtep. Ocorreu um aumento de 108,5% num período de 44 anos.

Os países integrantes da OCDE no ano de 1973 eram responsáveis pelo consumo de 60,4% de toda a energia

produzida no mundo. Já em 2017, eles foram responsáveis por 38,2% do consumo de energia, conforme pode ser observado no gráfico da Fig. 1.

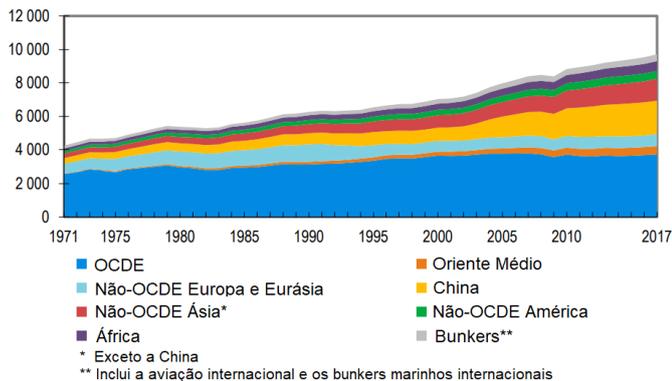


Fig. 1. Consumo mundial de energia - Mtep (IEA, 2019).

A geração mundial de energia elétrica no ano de 1973 foi de 6.131 TWh e no ano de 2017 foi de 25.606 TWh, o que representa um incremento de 417,6% no período. Os países integrantes da OCDE no ano de 1973 geravam cerca de 72,8% da energia elétrica mundial. Em 2017 esse percentual caiu para 43%, conforme observado no gráfico da Fig. 2.

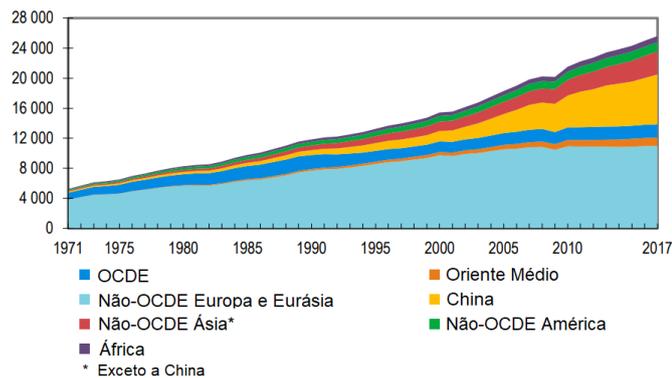


Fig. 2. Produção mundial de energia elétrica - TWh (IEA, 2019).

As reduções da OCDE na participação percentual mundial do consumo e da geração de energia elétrica não representam uma redução em quantidade. Mas sim, representa uma evolução no consumo e na geração de energia elétrica nos países não integrantes da OCDE.

Observa-se na Fig. 1, que não ocorreu um incremento expressivo no consumo de energia nos países integrantes da OCDE em um período de 41 anos. Isso demonstra, que os países membros da OCDE possuem uma economia relativamente estável e sem aumento acentuado no consumo de energia. Além do mais, as populações dos países ricos, na grande maioria, já haviam adquirido seus bens de consumo no século XX e constantemente realizam a troca por equipamentos com melhor eficiência energética (Francisco, 2010). E nos países não integrantes da OCDE ocorreu um incremento substancial no consumo de energia elétrica, principalmente no século XXI.

4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA *PER CAPITA* E O IDH

O IDH foi criado por Mahbud ul Haq, baseado no trabalho de Amartya Sen. E é utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) desde o ano de 1990 (Undp, 2020b). O IDH tem sido utilizado para mensurar a qualidade de vida humana dos países analisados, podendo comparar nações, estados e municípios. O IDH é baseado em três pilares: Renda, saúde e educação.

Deve-se observar que o IDH foi criado para ser uma alternativa de comparação e complementação de outros indicadores, como o PIB. O indicador PIB considera somente os aspectos econômicos em suas análises.

4.1 Consumo de Energia Elétrica Per Capita e IDH nos países em desenvolvimento e desenvolvidos (OCDE).

Os países em desenvolvimento apresentam um expressivo crescimento do IDH entre os períodos de 1990 a 2017. Somente na África do Sul ocorreu a queda nos índices entre os anos de 1995 a 2010, conforme exposto na Fig. 3. Entre os países em desenvolvimento selecionados neste estudo estão a Arábia Saudita, Argentina, Israel, Singapura e Uruguai, classificados com um IDH muito alto. A África do Sul, Brasil, China e México possuem um IDH alto, por fim, a Índia apresenta um IDH médio.

O Brasil no ano de 1990 possuía um IDH de 0,613 e em 2017 esse valor passou para 0,760. Assim, ocorreu um aumento de 24% no IDH, em um período de 27 anos.

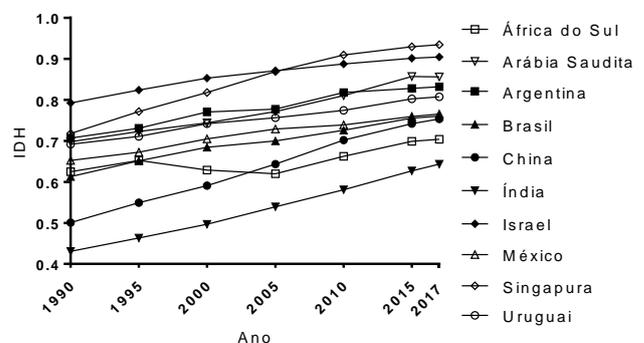


Fig. 3. Variação do IDH dos 10 países em desenvolvimento analisados pelo presente trabalho (UNDP, 2020a).

Os países integrantes da OCDE, escolhidos para a análise deste artigo, possuem todos um IDH muito alto. Os países da OCDE geralmente apresentam uma elevação do IDH menos acentuada nos períodos estudados, justamente por já possuírem um elevado IDH. A Fig. 4 mostra a variação do IDH para os 10 dos países integrantes da OCDE. Como exemplo, os Estados Unidos no ano de 1990 possuíam um IDH de 0,860 passando para 0,919 no ano de 2017, ocorreu um aumento de 6,86% no IDH no período de 27 anos.

A Fig. 5 exhibe os níveis de consumo *per capita* de energia elétrica para os 10 países em desenvolvimento destacados neste artigo. Como termo de comparação, a Fig. 6 exhibe os

níveis de consumo de energia elétrica *per capita* dos países desenvolvidos, integrantes da OCDE.

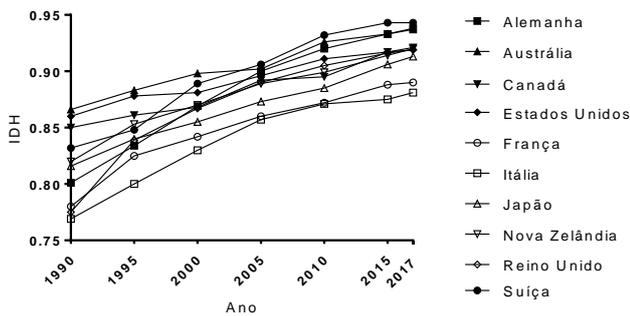


Fig. 4. Variação do IDH dos 10 países desenvolvidos analisados pelo presente trabalho (UNDP, 2020a).

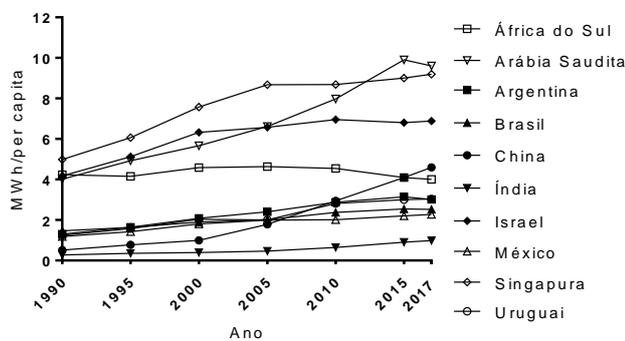


Fig. 5. Consumo de energia elétrica *per capita* dos 10 países em desenvolvimento (Bank, 2020a).

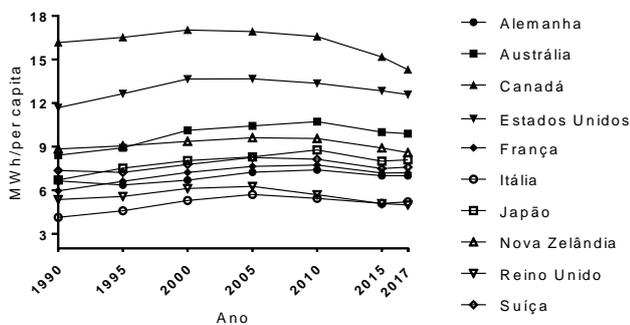


Fig. 6. Consumo de energia elétrica *per capita* dos 10 países desenvolvidos (Bank, 2020a).

Os países em desenvolvimento apresentam um gráfico com tendência de incremento anual no consumo de energia elétrica *per capita*, como mostrado na Fig. 3. O Brasil elevou o consumo de energia em 72,6% entre 1990 e 2017. Já, os países desenvolvidos mostraram uma pequena variação de consumo de energia elétrica para o mesmo período.

As Fig. 3 e Fig. 5 tendem a serem similares, porque com a elevação do IDH ocorre o aumento no consumo de energia elétrica *per capita* e vice-versa. Na comparação das Fig. 4 e Fig. 6 indicam a tendência de não similaridade em países desenvolvidos.

4.2 Regressão Linear entre o Consumo de Energia Elétrica Per Capita e o IDH

As regressões lineares são utilizadas para traçar retas em diagramas de dispersão. Desta forma, é possível observar a tendência de comportamento, no período desejado, entre os dados selecionados.

A Fig. 7 mostra os dados do consumo de energia elétrica *per capita* em função do IDH, bem como as regressões lineares, para os países em desenvolvimento. Já a Fig. 8 mostra os dados do consumo de energia elétrica *per capita* em função do IDH, e as regressões lineares, para os países desenvolvidos.

Na Fig. 7 é possível observar as tendências entre as regressões lineares obtidos através do consumo de energia elétrica *per capita* e o IDH. A grande maioria dos países em desenvolvimento analisados apresentaram regressões lineares positivas, ou seja, quanto maior o consumo de energia elétrica *per capita* maior será o IDH. Somente a África do Sul obteve uma regressão linear negativa entre os dados analisados, não condizente com a tendência de linearidade positiva dos países em desenvolvimento.

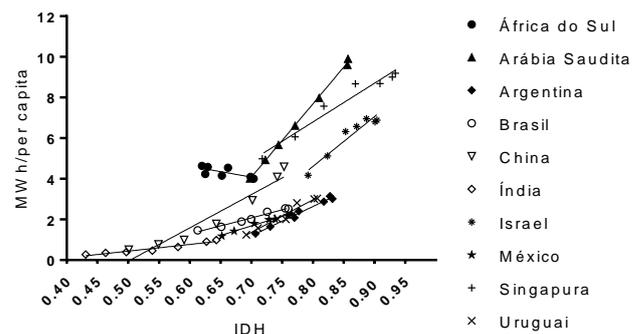


Fig. 7. Regressões lineares de MWh/*per capita* versus IDH – Países em desenvolvimento.

A Fig. 8 mostra as regressões lineares dos países desenvolvidos, integrantes da OCDE. Observa-se que existe uma mínima similaridade entre as relações de consumo de energia elétrica *per capita* e o IDH desses países. Observa-se que a correlação de consumo de energia elétrica *per capita* com o IDH é mais incisiva nos países em crescimento que nos países desenvolvidos. É destacável na Fig. 8 que Canadá e Reino Unido possuem regressões lineares negativas. A Nova Zelândia possui uma regressão linear praticamente horizontal.

A Tabela 2 apresenta dados de análise dos coeficientes das correlações de *Pearson* para os países em desenvolvimento. Com os dados quinquenais desde 1990 até 2015 mais o ano de 2017 foi possível correlacionar os dados da Tabela 2. Todos os países expostos possuem uma determinação *Muito Alta Positiva* com exceção da África do Sul, que foi *Baixa Negativa*. Com exceção da África do Sul, os países em desenvolvimento analisados possuem um coeficiente significativo “*p*” válido.

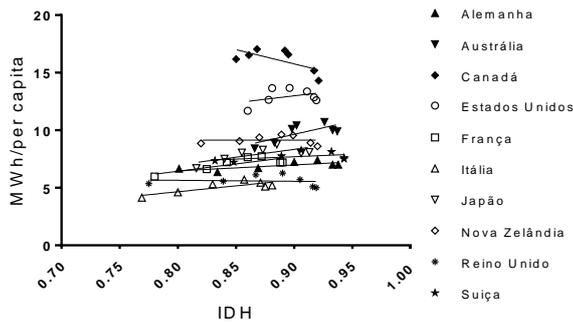


Fig. 8. Regressões lineares de MWh/per capita versus IDH – Países desenvolvidos.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson – MWh/per capita versus IDH – Países em desenvolvimento.

País	Coefficiente de Pearson “r”	Interpretação	Significante “p”
África do Sul	-0,7213	Baixa -	Não
Arábia Saudita	0,9993	Muito Alta +	Sim
Argentina	0,993	Muito Alta +	Sim
Brasil	0,9887	Muito Alta +	Sim
China	0,9645	Muito Alta +	Sim
Índia	0,9694	Muito Alta +	Sim
Israel	0,9633	Muito Alta +	Sim
México	0,9941	Muito Alta +	Sim
Singapura	0,9768	Muito Alta +	Sim
Uruguai	0,9765	Muito Alta +	Sim

A Tabela 3 apresenta os dados de análise dos coeficientes das correlações de Pearson, separadamente, para os países desenvolvidos. Esses países não possuem uma determinação de Pearson tão homogênea. Somente 5 países apresentam uma determinação *Alta Positiva* (Alemanha, Austrália, França, Itália e Japão), um país apresenta determinação *Moderada Negativa* (Canadá), 2 países apresentam determinação *Baixa Positiva* (Estados Unidos e Suíça) e dois países possuem determinação *Insignificante* (Nova Zelândia e Reino Unido). Entre esses países somente a França e a Itália possuem uma correlação de dados significativa.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson – MWh/per capita versus IDH – Países desenvolvidos.

País	Coefficiente de Pearson “r”	Interpretação	Significante “p”
Alemanha	0,7485	Alta +	Não
Austrália	0,7356	Alta +	Não
Canadá	-0,6774	Moderada -	Não
EUA	0,3784	Baixa +	Não
França	0,8133	Alta +	Sim
Itália	0,8168	Alta +	Sim
Japão	0,7269	Alta +	Não
N. Zelândia	0,0018	Insignificante	Não
Reino Unido	-0,0920	Insignificante	Não
Suíça	0,4885	Baixa +	Não

Os resultados obtidos no presente estudo foram similares aos mostrados por (Goldemberg, 2001). Nos países em desenvolvimento foi possível observar que existe uma predisposição muito alta entre o consumo de energia elétrica *per capita* e o IDH, com exceção da África do Sul. Já em países desenvolvidos essa correlação tende a ser mais fraca.

5. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E O PIB

Conforme (Epe, 2017), há uma projeção significativa para o Brasil em relação ao consumo de energia elétrica *per capita* e o PIB num horizonte de 10 anos, mostrado na Fig. 9. Esses dados corroboram com o sentido de que quanto maior for o PIB do país, maior é o consumo de energia elétrica.

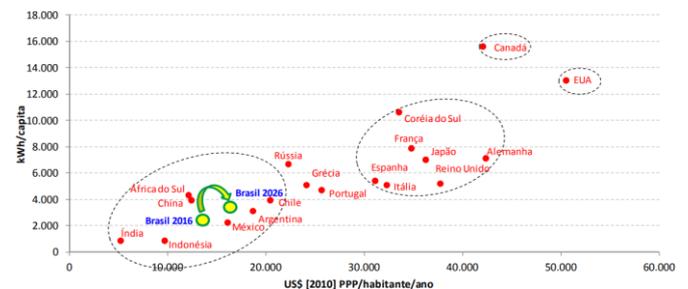


Fig. 9. Consumo de energia elétrica *per capita* versus PIB-PPP (Epe, 2017).

Neste artigo foi utilizado o Produto Interno Bruto com paridade do poder de compra – PIB-PPP (Power Purchase Parity) - expresso em dólares americanos. Conforme a Fig. 10, Singapura é o país que em 2017 obteve o maior PIB-PPP entre os países em desenvolvimento estudados. Por outro lado, a Índia possuía o pior PIB-PPP *per capita* dos países estudados, representando apenas 7,4% do PIB-PPP *per capita* de Singapura.

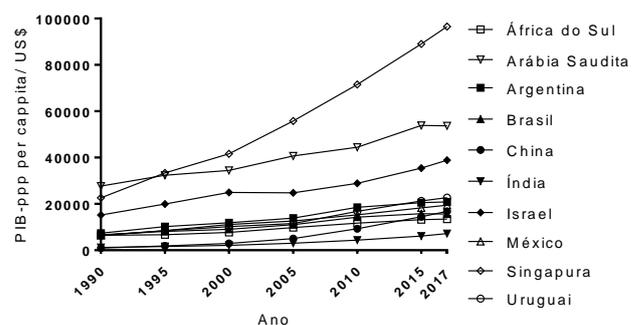


Fig. 10. Indicador do Produto Interno Bruto dos países em desenvolvimento (Bank, 2020b).

A Suíça em 2017 teve o maior PIB-PPP *per capita* dos países desenvolvidos, integrantes da OCDE. Já a Nova Zelândia possuiu o menor valor de PIB-PPP *per capita* dos países desenvolvidos para o mesmo ano, conforme Fig. 11.

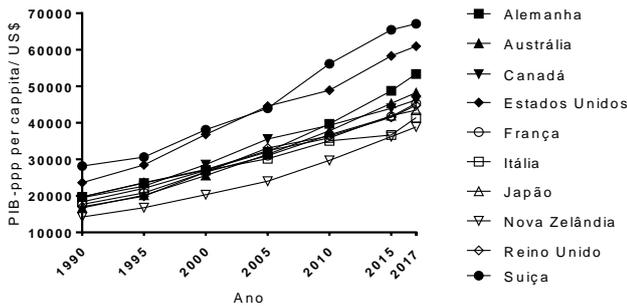


Fig. 11. Indicadores do Produto Interno Bruto dos países desenvolvidos (Bank, 2020b).

5.1 Regressão Linear entre o Consumo de Energia Elétrica Per Capita e o PIB

As regressões lineares entre o consumo de energia elétrica *per capita* e o PIB_{PPP} para os países em desenvolvimento são expostas na Fig. 12. A Fig. 13 apresenta um gráfico com as regressões lineares dos países desenvolvidos.

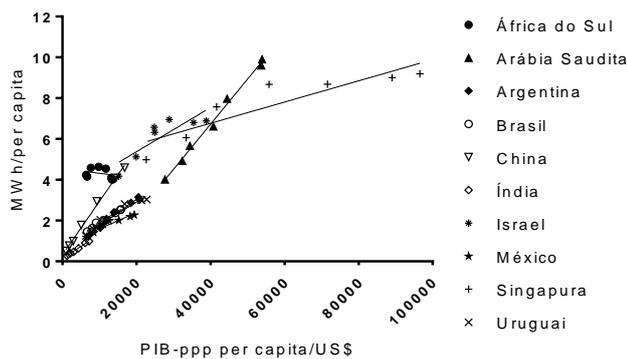


Fig. 12. Regressões lineares de MWh/*per capita* versus PIB_{PPP} – Países em desenvolvimento

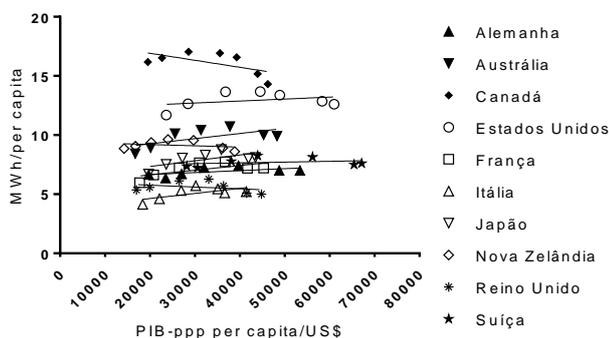


Fig. 13. Regressões lineares de MWh/*per capita* versus PIB_{PPP} – Países desenvolvidos.

A Tabela 4 expõe os coeficientes de correlação de *Pearson* para os países em desenvolvimento, dos dados de consumo de energia elétrica *per capita* em função do PIB_{PPP}. Somente a África do Sul apresenta uma correlação *Insignificante* e não

significativa. O restante dos países apresenta correlação *Muito Alta* ou *Alta* e significativa.

A Tabela 5 expõe os coeficientes de correlação de *Pearson* para os países desenvolvidos, considerando os dados de consumo de energia elétrica em função do PIB_{PPP}. Nenhum país desenvolvido estudado apresentou correlação de *Pearson* significativa.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de *Pearson* – MWh/*per capita* versus PIB – Países em desenvolvimento.

País	Coefficiente de <i>Pearson</i> “r”	Interpretação	Significante “p”
África do Sul	-0,2694	Insignificante	Não
Arábia Saudita	0,9966	Muito Alta +	Sim
Argentina	0,9867	Muito Alta +	Sim
Brasil	0,992	Muito Alta +	Sim
China	0,9975	Muito Alta +	Sim
Índia	0,9963	Muito Alta +	Sim
Israel	0,8499	Alta +	Sim
México	0,9589	Muito Alta +	Sim
Singapura	0,8993	Alta +	Sim
Uruguai	0,9718	Muito Alta +	Sim

Dos dados acima, conclui-se que os países em desenvolvimento selecionados tendem a possuir uma forte relação no consumo de energia elétrica com o PIB_{PPP}, somente a África do Sul mostrou uma correlação não significativa.

Tabela 5. Coeficientes de correlação de *Pearson* – MWh/*per capita* versus PIB – Países desenvolvidos.

País	Coefficiente de <i>Pearson</i> “r”	Interpretação	Significante “p”
Alemanha	0,5884	Moderada +	Não
Austrália	0,6416	Moderada +	Não
Canadá	-0,6126	Moderada -	Não
EUA	0,3343	Baixa +	Não
França	0,664	Moderada +	Não
Itália	0,6647	Moderada +	Não
Japão	0,6765	Moderada +	Não
N. Zelândia	-0,2659	Insignificante	Não
Reino Unido	-0,3399	Baixa -	Não
Suíça	0,2695	Insignificante	Não

Os países desenvolvidos não possuem uma correlação significativa entre o consumo de energia elétrica e o PIB_{PPP}. Ou seja, não apresentam qualquer correlação entre os dados analisados pelo método de Correlação de *Pearson*.

6. PROJEÇÃO DE EXPANSÃO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA PELO PIB_{PPP} E O IDH NO BRASIL

Como já exposto, o Brasil determina sua projeção de expansão da demanda de energia elétrica através da análise do PIB_{PPP} e da expansão demográfica. Para as análises seguintes, foram utilizados os dados anuais do ano de 1990 até 2017, totalizando 28 pontos de análises.

A Fig. 14 expõem uma análise dos Coeficientes de Correlação de *Pearson* e a Regressão Linear entre o consumo

de energia elétrica *per capita* e o IDH. A Fig. 15 mostra a análise do coeficiente de Correlação de *Pearson* e a Regressão Linear entre o consumo de energia elétrica e o PIB_{PPP} *per capita*.

A correlação entre o consumo de energia elétrica *per capita* e o IDH tem um coeficiente de *Pearson* $r=0,9688$, significativo. A equação característica da reta de Regressão Linear é a determinada pela Equação 2.

$$Y = 8,377X - 3,8 \quad (2)$$

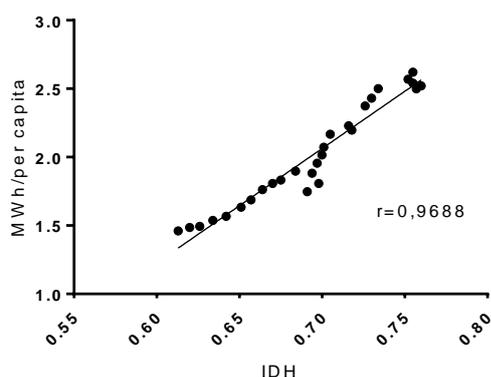


Fig. 14. Regressão linear e o índice de correlação de *Pearson* MWh/*per capita* versus IDH - Brasil.

Utilizando a Equação 2 é possível prever o consumo de energia elétrica *per capita* para a evolução do IDH. Considerando que o IDH de 0,800 é o índice mínimo de acesso à categoria de *Muito Alto Desenvolvimento Humano* conclui-se que o consumo de energia elétrica *per capita* anual deve ser no mínimo de 2,90 MWh. Ou seja, um incremento de 15,1% em relação ao ano de 2017, quando o consumo era de 2,52 MWh *per capita*.

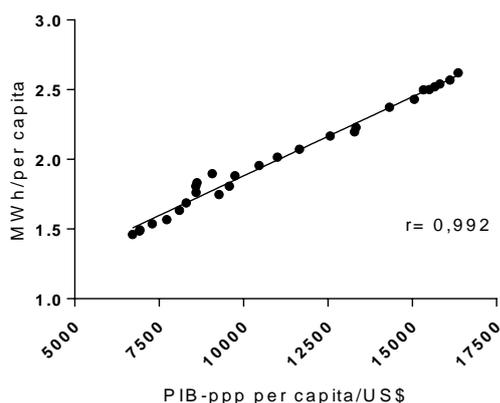


Fig. 15. Regressão linear e o índice de correlação de *Pearson* MWh/*per capita* versus PIB_{PPP} - Brasil.

A correlação entre o consumo de energia elétrica e o PIB_{PPP} *per capita* tem um coeficiente de *Pearson* $r=0,9927$, significativo. A equação característica da reta de Regressão Linear é determinada pela Equação 3.

$$Y = 0,0001137X + 0,7441 \quad (3)$$

Utilizando a Equação 3 é possível realizar a previsão de consumo de energia elétrica *per capita* para a evolução do PIB_{PPP}. Considerando que um IDH de 0,800 é o índice de mínimo de acesso à categoria de *Muito Alto Desenvolvimento Humano*, o PIB_{PPP} *per capita* deve ser de no mínimo US\$ 18.961,30 anuais. Existe, portanto um incremento de US\$ 3.299,06 em relação ao ano de 2017.

Usando a técnica acima descrita pode-se demonstrar que para o Brasil, a utilização do PIB na projeção de expansão de demanda de energia elétrica é melhor correlacionada do que utilizar o IDH. Mas isso não conclui que o IDH é um determinante errôneo, de forma alguma. Deve-se utilizar vários parâmetros complementares para a projeção da expansão da demanda de energia elétrica e, o IDH é somente mais um desses parâmetros.

7. CONCLUSÕES

A qualidade de vida de uma nação está intrinsecamente correlacionada com a facilidade do consumo de energia elétrica por sua população. O aumento da expectativa de vida, escolaridade e renda podem ser relacionados com o acesso e a disponibilidade da energia elétrica. Com base nos dados estatísticos apresentados neste artigo pode-se concluir que há uma forte tendência de correlação entre o consumo de energia elétrica e os índices de IDH e PIB de um país em desenvolvimento.

Como observado nas análises realizadas para este artigo, a elevação dos níveis de consumo de energia elétrica está intrinsecamente relacionada ao desenvolvimento humano e econômico de uma nação. Países em desenvolvimento possuem uma interdependência de evolução entre o desenvolvimento humano e econômico e o consumo de energia elétrica. Observou-se que ocorreu um aumento nos níveis do PIB e do IDH de forma correlacionada com a elevação do consumo de energia elétrica e vice-versa, exceto para a África do Sul. Porém, a África do Sul nas análises de correlação de *Pearson* obteve coeficientes baixos e insignificantes. Nos países desenvolvidos essa interdependência não é observada. Nestes países, apenas para a França e Itália ocorreu uma correlação de *Pearson* significativa, entre o IDH e o consumo de energia elétrica.

A correlação de *Pearson* entre o PIB e o consumo de energia elétrica não é significativa para nenhum dos países desenvolvidos analisados. Uma diminuição da correlação entre os indicadores em países desenvolvidos indica a existência de um ponto de saturação no consumo de energia elétrica quando correlacionados com o desenvolvimento econômico.

A projeção da expansão da demanda de energia elétrica no Brasil, atualmente, é baseada no PIB e na expansão demográfica. Porém, com este artigo conclui-se que as nações em desenvolvimento tendem a possuir uma correlação forte do consumo de energia elétrica com o PIB e com o IDH, conforme as Tabelas 2 e 4. Os países desenvolvidos apresentam uma correlação mais forte no consumo de energia elétrica com o IDH do que com o PIB, ver Tabelas 3 e 5. Os países em desenvolvimento têm um crescimento econômico

com a evolução do PIB. Isto é contemplado com a evolução das baixas classes sociais, elevando o consumo da energia elétrica e o consumo de bens e serviços.

Com a Equação 2 pode-se medir de forma objetiva o consumo de energia elétrica *per capita* no Brasil para elevar o IDH de “Alto” para “Muito Alto”. O consumo mínimo ponderável é de 2,90 MWh *per capita* anual. Comparando consumo mínimo ponderável com o do ano de 2017, necessita-se de um incremento de 0,38 MWh *per capita* anual.

Além da previsão do consumo de energia elétrica pode-se projetar o PIB-ppp *per capita* para um incremento no consumo de energia elétrica em 15,1%. Esta previsão passa de 2,52 MWh para 2,90 MWh do consumo *per capita* anual. Com isso, o PIB anual passaria de US\$ 15.662,24 para US\$ 18.961,30.

Com a utilização de dados públicos no período entre 1990 a 2017, foi possível a mensuração dos coeficientes de correlação de *Pearson* para os países analisados. Além de se prever a significância dos dados correlacionados, foi possível determinar suas equações características. Com isto, os países em processo de desenvolvimento podem utilizar esses dados para uma análise da evolução de desenvolvimento ou de retrocesso.

Assim, foi possível demonstrar que com a utilização do método de Correlação de *Pearson* é possível utilizar, de modo aceitável, o IDH para a projeção de expansão de demanda de energia elétrica nos países em desenvolvimento. O Brasil poderia utilizar a correlação do IDH com o consumo de energia elétrica *per capita* de forma complementar aos índices PIB e evolução demográfica para a projeção de expansão da demanda de energia elétrica em território nacional.

REFERÊNCIAS

- Bank, W. 2020a. *Electric Power Consumption (Kwh Per Capita)* [Online]. Available: <https://Data.Worldbank.Org/Indicator/Eg.Use.Elec.Kh.Pc> [Accessed 20/02/2020].
- Bank, W. 2020b. *Gdp Per Capita, Ppp (Current International \$)* [Online]. Available: <https://Data.Worldbank.Org/Indicator/Ny.Gdp.Pcap.Pp.Cd> [Accessed 20/02/2020].
- Bridge, B. A., Adhikari, D. & Fontenla, M. 2016. Electricity, Income, And Quality Of Life. *The Social Science Journal*, 53, 33-39.
- Campbell, M. J. 1997. *Statistics At Square One*.
- Crow, M. L. & Shetty, N. 2004. Electric Power Systems Measurements And Variables. In: Cleveland, C. J. (Ed.) *Encyclopedia Of Energy*.
- Epe, E. D. P. E. 2017. Projeção Da Demanda De Energia Elétrica Para Os Próximos 10 Anos (2017-2026).
- Ferguson, R., Wilkinson, W. & Hill, R. 2000. Electricity Use And Economic Development. *Energy Policy*, 28, 923-934.
- Francisco, E. D. R. 2010. Indicadores De Renda Baseados Em Consumo De Energia Elétrica: Abordagens Domiciliar E Regional Na Perspectiva Da Estatística Espacial. *Fgv Eaesp*.
- Gadella, S. R. D. B. & Cerqueira, R. M. G. 2013. Consumo De Eletricidade E Crescimento Econômico No Brasil, 1952-2010: Uma Análise De Causalidade. In: Brasil: Tesouro Nacional, M. D. F. (Ed.).
- Garcia, M. 2006. *An Introduction Linking Energy Use And Human Development* [Online]. Available: https://Manuelgarciajr.Files.Wordpress.Com/2011/11/Efhd_r_01.Pdf [Accessed 17/02/2020].
- Goldemberg, J. 2001. *Energy And Human Well-Being* [Online]. Available: <http://Hdr.Undp.Org/En/Content/Energy-And-Human-Well-Being> [Accessed 17/02/2020].
- Hinkle, D. E., Wiersma, W. & Jurs, S. G. 2003. *Applied Statistics For The Behavioral Sciences. 5 Th Ed. Boston: Houghton Mifflin*, 663.
- Iea 2019. *Key World Energy Statistics 2019*.
- Lambert, J. G., Hall, C. A. S., Balogh, S., Gupta, A. & Arnold, M. 2014. Energy, Eroi And Quality Of Life. *Energy Policy*, 64, 153-167.
- Lavoisier, A. L., Lavoisier, M.-A.-P., Papillon, J.-M., Chardon, J.-F. O.-L. & Cuchet, G.-J. 1789. *Traité Élémentaire De Chimie : Présenté Dans Un Ordre Nouveau Et D'après Les Découvertes Modernes : Avec Figures*, A Paris :, Chez Cuchet ...
- Leung, C. S. & Meisen, P. 2005. How Electricity Consumption Affects Social And Economic Development By Comparing Low, Medium And High Human Development Countries. *Geni: San Diego, Ca*.
- Mazur, A. 2011. Does Increasing Energy Or Electricity Consumption Improve Quality Of Life In Industrial Nations? *Energy Policy*, 39, 2568-2572.
- Moore, D. S. 2007. *The Basic Practice Of Statistics*.
- Mukaka, M. M. 2012. Statistics Corner: A Guide To Appropriate Use Of Correlation Coefficient In Medical Research. *Malawi Medical Journal : The Journal Of Medical Association Of Malawi*, 24, 69-71.
- Nadimi, R. & Tokimatsu, K. 2018. Modeling Of Quality Of Life In Terms Of Energy And Electricity Consumption. *Applied Energy*, 212, 1282-1294.
- Narayan, P. K., Narayan, S. & Popp, S. 2010. Does Electricity Consumption Panel Granger Cause Gdp? A New Global Evidence. *Applied Energy*, 87, 3294-3298.
- Silva, M. G. & Guimarães, L. D. S. G. 2012. Uso Do Índice De Desenvolvimento Humano Como Instrumento De Projeção De Demanda De Energia Elétrica. *Economia E Energia*.
- Simabukulo, L. A. N., Correa, L. F. D. S., Dos Santos, M. M. O. & Martins, M. 2017. Energia, Industrialização E Modernidade - História Social. *Museu Da Energia*.
- Smil, V. 2004. World History And Energy. In: Cleveland, C. J. (Ed.) *Encyclopedia Of Energy*. New York: Elsevier.
- Un 2019. *World Economic Situation And Prospects 2019*.
- Undp. 2020a. *Human Development Data (1990-2018)* [Online]. [Accessed 18/02/2020].
- Undp. 2020b. *What Is Human Development?* [Online]. Available: <http://Hdr.Undp.Org/En/Content/What-Human-Development> [Accessed 21/02/2020].