

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PAÍSES DA AMÉRICA COM MAIOR POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA**

*Armando Menegati Neto<sup>1</sup>; Cleylse Andreia Souza Lima<sup>1</sup>; Paulo Victor Freitas Lopes<sup>1</sup>;  
Aleska Kaufmann Almeida<sup>1</sup>; Henrique Augusto Dantas Heck<sup>1</sup>; Leidiane da Silva Marques<sup>1</sup>;  
Sharon Kelly de Melo<sup>1</sup>; Ayrton Renan de Oliveira Ferreira<sup>1</sup>; José Antonio Guarienti<sup>1</sup>;  
Cássia Monteiro da Silva Burigato Costa<sup>1</sup>; João Paulo Ottonelli & Isabel Kaufmann de Almeida<sup>1\*</sup>*

**RESUMO** – Com o avanço da industrialização, o consumo de energia aumentou, sendo necessário buscar outras fontes energéticas para suprir essa demanda. Cada país procura explorar ao máximo seu território na tentativa de inovações tecnológicas que geram economias financeiras. Regiões em desenvolvimento dotadas de abundantes fontes hídricas tendem a aumentar o uso de energia hidráulica para gerar mais eletricidade. Assim, tendo em vista a abundância de fontes renováveis no Continente Americano, torna-se preocupante ser a geração de energia por combustíveis fósseis a que apresenta maior crescimento. Assim, este estudo tem como objetivo debater a aplicação da energia hidrelétrica nos países com maior potencial de produção no Continente Americano e fazer a análise sobre o comportamento da produção de energia hidrelétrica nesses países ao longo dos anos de 1990 e 2016. Em relação à produção de energia hidrelétrica, a participação ao longo dos anos tem sido cada vez menor na porcentagem total da geração de energia. Apesar disso houve aumento de geração na Argentina, Brasil, Canadá, Colômbia, Paraguai e Venezuela. Isso demonstra que, ao longo dos anos, o potencial hídrico nesses países vem sendo amplamente explorado, e mesmo assim, não é suficiente para suprir as demandas energéticas, sendo necessário outras fontes geradoras.

**ABSTRACT** - With the advance of industrialization, the need for energy has increased, being necessary to seek other energy sources to meet this demand. Each country seeks to exploit its territory as much as possible in the attempt of technological innovations that generate financial savings. Developing regions endowed with abundant water sources tend to increase the use of hydroelectric energy to generate more electricity. Thus, considering the abundance of renewable sources in the American continent, it is worrying to be the generation of energy by fossil fuels to which it presents growth. The objective of this study is to discuss the application of hydroelectric energy in the countries with the highest production potential in the American continent and to analyze the behavior of hydroelectric energy production in these countries during the years of 1990 and 2016. In relation to the production of hydroelectric power, participation over the years has been decreasing in the total percentage of energy generation. Despite this, there was an increase in generation in Argentina, Brazil, Canada, Colombia, Paraguay and Venezuela. This shows that, over the years, the water potential in these countries has been widely explored, and even then, it is not enough to supply the energy demands, and other generating sources are necessary.

**Palavras-Chave** – Potencial de energia. Hidrelétricas. Recursos energéticos.

---

<sup>1</sup>) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Cidade Universitária, CEP 79070-900. Campo Grande, MS.

\* Autor Correspondente: isabel.almeida@ufms.br

## INTRODUÇÃO

Os padrões de vida atuais são dependentes dos recursos energéticos, e com isso o consumo de energia está ligado diretamente ao desenvolvimento econômico. A partir da revolução industrial, o desenvolvimento econômico e o consumo de energia apresentaram crescimento relativamente rápido em escala global. O futuro da energia está rapidamente mudando em relação ao avanço tecnológico, entretanto o destino da mesma continua incerto e ainda não claramente compreendido (Brown, 2002; Wei e Liao, 2016).

O Brasil possui presença na mídia internacional devido às fontes renováveis no setor energético. De acordo com Pereira Junior *et al.*, (2008), dados do Ministério de Minas e Energia de 2004 mostram que a maioria da energia brasileira gerada, aproximadamente 81.7%, vem de fontes hídricas. Entretanto as fontes não-hídricas são as que apresentam maior aumento (Pao e Fu, 2013). O Brasil é o terceiro país com a maior capacidade de energia renovável do mundo, perdendo para Estados Unidos e China. Já no quesito potencial hidrelétrico, perde somente para a China.

Ainda segundos os autores Pereira Junior *et al.*, (2008) e Pao e Fu, (2013), a geração hidrelétrica no Brasil teve um reforço recente com a construção de duas grandes barragens no rio Madeira em 2008, Santo Antônio e Jirau. A perspectiva dessas usinas é a produção de 11% da energia necessária para abastecer o país. Esse tipo de projeto cria oportunidades de emprego e promove investimentos substanciais de consórcios para a construção da barragem. Junto a isso, o Brasil possui pequenas hidroelétricas que suprem as demandas de pequenos centros urbanos e áreas rurais. Entretanto a grande demanda de recursos hidrelétricos ilustra o risco inerente às fontes de água no país. Nos últimos anos diversos casos de rompimento de barragens apareceram, o que acarreta em diversas consequências econômicas, sociais e ambientais. Além disso, os períodos de estiagem prolongada prejudicam a geração de energia nas hidrelétricas. Visto isso se tem a necessidade da diversificação do tipo de produção energética brasileira.

De acordo com Birol e Argiri (1999), o consumo mundial de energia tem como previsão o aumento de 2% a cada ano. Isso implica no aumento da demanda mundial anual de 97PWh em 1995 para 159PWh em 2020. Entretanto a maior parte dessa energia é gerada através de combustíveis fósseis, sendo dominante o óleo. No OECD, a maior parte dos locais aptos já foram explorados e por isso o crescimento é limitado, estimado em 0.7% ao ano. Regiões em desenvolvimento dotadas de abundantes fontes hídricas aumentarão o uso de energia hidráulica para gerar mais eletricidade. China e o Leste da Ásia tem como previsão serem as regiões com maior aumento de energia hidrelétrica. Assim, este estudo tem como objetivo debater a aplicação da energia hidrelétrica nos países com maior produção hidrelétrica no continente Americano e analisar a produção de energia hidrelétrica

nesses países comparando-a com as de outras fontes geradoras de energia ao longo dos anos de 1990 e 2016.

## **METODOLOGIA**

A Agência Internacional de Energia (IEA) foi fundada após a crise petrolífera em 1973, com o intuito de buscar fontes de energias alternativas. Atualmente possui 30 países membros e busca garantir segurança energética, desenvolvimento econômico, conscientização ambiental e engajamento em todo o mundo (Van de Graaf, 2012; IEA, 2019)

Através da IEA (2019) foram selecionados os países caracterizados como os principais geradores de energia hidrelétrica do continente Americano através dos dados coletados da plataforma online, e analisados a cada 5 anos entre 1990 e 2015 em adição aos dados de 2016. Além disso, foi usada a variação dos coeficientes angulares dos dados de geração de energia a fim de se descobrir o comportamento das séries ao longo dos anos. A fim de avaliar a tendência da utilização da energia hidrelétrica nos países selecionados, ao longo do período de estudo, foram aplicadas regressões lineares simples. Os resultados obtidos foram comparados com as fontes bibliográficas. Essas fontes bibliográficas foram selecionadas devido ao seu alto número de citações na plataforma Google Scholar e relevância ao assunto dentro do período de tempo estudado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Principais Países da América Geradores de Energia Hidrelétrica**

#### **Argentina**

Os custos elevados de implementação das hidrelétricas está associado à expansão energética na Argentina em 1990, em que a energia renovável não recebeu muitos incentivos. E em consequência disso, o consumo de gás natural vem sendo utilizado como matriz energética. O petróleo e o gás natural dominam a matriz energética da Argentina (Guzowski e Recalde, 2008). De acordo com Schaube et al. (2018), na América Latina, a Argentina só perde para o Brasil em potenciais de energias renováveis. Segundo os dados da IEA (2019), em 2016 a capacidade de geração de energia hidrelétrica da Argentina teve um decréscimo em relação ao ano de 1990, atingindo 26%, enquanto a geração de energia a partir de combustíveis fósseis foi de 67% (Tabela 1).

#### **Brasil**

A capacidade instalada das usinas hidrelétricas em operação representam cerca de 29% do potencial hidrelétrico total no Brasil (Bernann, 2007), e as possibilidades de expansão dessa

capacidade encontram muitos problemas. Aproximadamente, metade desse potencial está localizada na região Amazônica, gerando consequências sociais e ambientais. Além da Amazônia, a região das bacias do Rio Paraná e Rio Uruguai são significantes, entretanto são regiões populosas e com alta densidade de áreas rurais, o que seria necessário deslocamento da população ribeirinha para a formação dos reservatórios. É válido lembrar, ainda, que existem outras regiões com bom potencial de geração de energia hidrelétrica com menores danos ao meio ambiente e a sociedade local. Segundo da Silva et al. (2016) consumo energético brasileiro apresentou um aumento de 57% de 2000 a 2013, que juntamente com períodos de seca intensa entre 2011 e 2013, baixaram os níveis dos reservatórios das hidrelétricas, sendo os principais fatores responsáveis pela crise energética em 2015. Durante esse período de baixo fornecimento das hidrelétricas, o Brasil chegou a gerar 26% da energia através de termoeletricas. Esse comportamento pode ser melhor analisado na Figura 1, onde se verifica queda na geração de energia hidrelétrica e aumento, principalmente, do uso do gás como combustor das usinas termoeletricas.

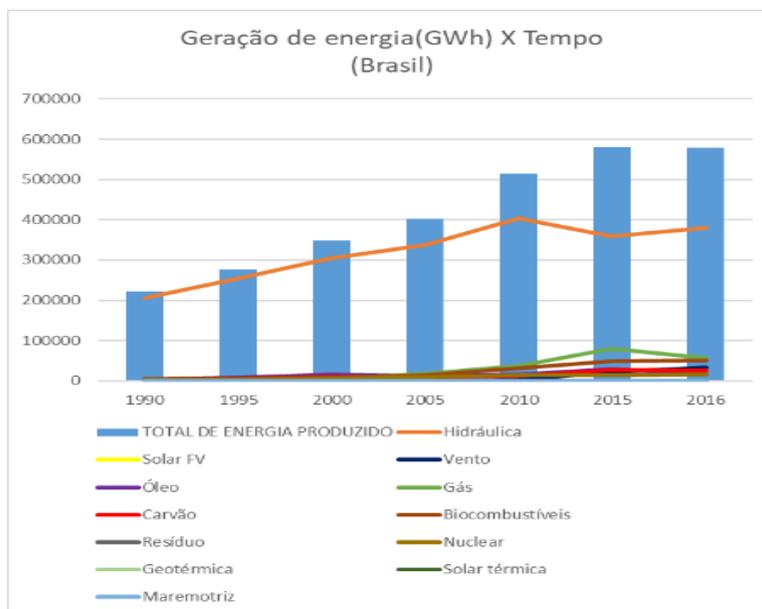


Figura 1 – Geração brasileira para cada tipo de fonte energética.

## Canadá

As pequenas centrais hidrelétricas são as melhores alternativas para a produção a diminuição no uso de combustíveis fósseis como fonte de energia elétrica em comunidades remotas do Canadá, porém essa tecnologia possui custo elevado (Canadá, 2018). O potencial elétrico das PCHs é estimado em 15MW. O governo canadense promove pesquisas com foco na energia hidrelétrica tendo em vista o desenvolvimento sustentável e o uso responsável das fontes naturais de energia.

## Colômbia

De acordo com Morales *et al.* (2015), o plano de expansão de geração de energia elétrica na Colômbia começou em 2011, e possui como meta alcançar a capacidade instalada de 7914 MW até 2025, sendo 6088MW atribuídos a projeto de hidrelétricas, como Ituango e PCHs. A Colômbia apresenta vasto potencial hidrelétrico, devido à localização geográfica. Esse potencial já vem sendo amplamente explorado em projetos de geradoras hidrelétricas, beneficiando cidades e centros de grande consumo, excluindo em muitos casos zonas rurais sem linhas de transmissão. E, ainda existem vários projetos de PCHs em análise.

## **Estados Unidos**

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento hídrico continua a ser restrito devido a regulamentação e oposição ambiental, embora o governo Bush prometeu apoio e ênfase sobre as energias renováveis. Durante seu mandato, cerca de 40MW de potencial hidrelétrico foram implementados além de alguns projetos de ampliação (Bartle, 2002). Atualmente o país segue o padrão de portfólio renováveis (renewables portfolio standard), um instrumento político que garante uma parcela mínima de energia renovável de fontes eólicas, solares, biomassa e geotermal, desse modo o investimento no setor hidrelétrico é reduzido (Kydes, 2007). Segundo os dados da IEA, a contribuição de hidrelétricas no total de energia renovável gerado é de apenas 47%, enquanto que a eólica, um tipo de geração muito mais moderno e recente, apresenta incríveis 37% de participação.

## **México**

Segundo Alemán-Nava *et al.* (2014), o México é o 9º país com as maiores reservas de óleo no mundo e o 4º com as maiores reservas de gás da América Latina, entretanto esse tipo de potencial ainda não foi amplamente explorado. Apresentando 11603MW de capacidade hidrelétrica instalada em 2012, sendo administrada pelo setor público e privado com 72 estações em operação. O setor privado possui 28 estações em nove estados, gerando 308MWh/ano. Entretanto o potencial de geração do país ainda não foi estimado completamente. O National Commission for the Efficient Use of Energy (CONAE) já identificou mais de 100 possíveis áreas para ampliação do potencial. Por exemplo, Veracruz e Puebla tem um potencial estimado de geração de 3570GWh/ano, equivalente a 400MW instalados.

## **Paraguai**

O Paraguai é notável pelo seu sistema de geração baseado majoritariamente em recursos renováveis, paradoxalmente é o país com menor consumo elétrico da América Latina. Sendo um dos maiores países do mundo em energia hidrelétrica gerada per capita, sua energia vem das usinas

construídas em parceria com o Brasil (Itaipu, com 14000MW instalados) e Argentina (Yacyreta, com 3200MW), tendo 50% de compartilhamento em cada projeto. O consumo anual per capita do Paraguai é cerca de 1400KWh/ano (Blanco *et al.*, 2017).

## **Venezuela**

O padrão de utilização de energia venezuelano começou no fim do século 19 com o uso do óleo como perspectiva comercial. Em 2011 o país ocupava a 8ª posição em produção de óleo no mundo. Devido as suas reservas de gás e óleo, é considerado um dos países com maior potencial de geração de combustíveis fósseis do mundo. A Venezuela é conhecida como o 9º país produtor de energia hidrelétrica devido a sua excelente posição geográfica e condições hidrológicas para desenvolvimento de projetos. Em 2009, 70% da produção elétrica venezuelana foi produzida por hidrelétricas construídas no Rio Caroní (Pietrosemoli & Monroy, 2013).

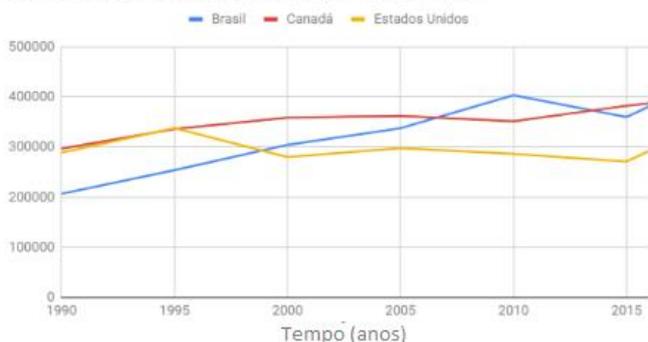
## **Comportamento da Geração de Energia nos Países**

Na Argentina durante os anos de 1990 e 1995, a energia hidráulica e o gás natural representavam mais de 80% da energia gerada no país. Isso mudou nos anos seguintes com o estímulo do gás como fonte de energia. A geração hidrelétrica se estagnou e hoje representa apenas um quarto da produção energética anual.

A principal matriz energética brasileira continua sendo a hídrica ao longo de todo o tempo analisado (Figura 1), apesar disso, desde os anos 2000, a geração por meios hídricos vem diminuindo sua parcela na produção energética do país. Logo, o Brasil precisou aumentar a geração de energia alternativa, usando o gás natural, uma fonte não renovável. Além disso, o Brasil vem trazendo incentivos para o aumento de outras energias renováveis não hídricas como a fotovoltaica e a eólica que, embora ainda não suprem grande parte da demanda brasileira, são as que mais crescem.

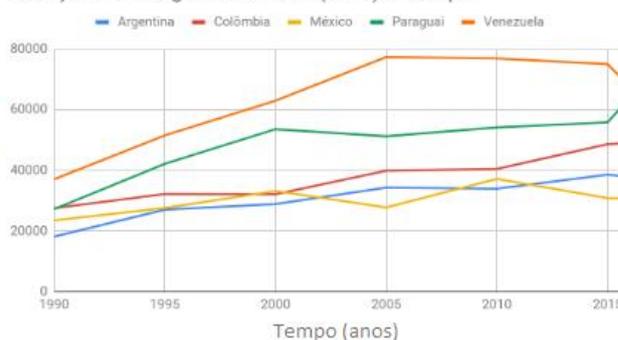
De acordo com a Figura 2, o Canadá tem investido no uso de energia hidrelétrica, onde o aumento de geração anual entre o ano de 1990 e 2016 chegou a 90TWh/ano. A Colômbia implementou políticas favorecendo a geração de energia hidrelétrica forneceram um aumento de geração em 8500 GWh/ano de 2010 para 2016. Já, nos Estados Unidos a diminuição do carvão como recurso energético primário teve seu lugar ocupado pelo uso de gás natural. Devido ao aumento do consumo e estagnação da geração de energia hidrelétrica a participação no suporte energético do país caiu. No México a geração de energia hidrelétrica teve um pico de 37000GWh no ano de 2010, entretanto decaiu nos anos seguintes.

Geração de Energia Hidrelétrica(GWh) X Tempo



(a)

Geração de Energia Hidrelétrica(GWh) X Tempo



(b)

Figura 2 (a) e 2 (b) – Geração Hidrelétrica nos países estudados.

Cada vez mais, o gás natural vem tomando espaço como principal matéria prima na geração de energia elétrica. No Paraguai o consumo energético aumenta a cada ano, entretanto como a sua potência instalada é muito maior que o necessário, continua sendo abastecido 99.9% por fontes hídricas. É válido lembrar que o excedente de energia é comprado pelo Brasil. Pode-se observar que a Venezuela durante os anos de 1990 e 2005 o país teve um aumento de 30000GWh/ano na sua geração. Em 2016 a geração hidrelétrica pode abastecer 60% do consumo do país (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise comparativa entre as gerações de energia dos países estudados.

Países	Produção Hidrelétrica(GW)		Parcela da Geração Hidrelétrica		Parcela da Geração Combustíveis Fósseis	
	1990	2016	1990	2016	1990	2016
Canadá	296848	387208	62%	58%	22%	20%
Brasil	206708	380911	93%	66%	4%	17%
Estados Unidos	288960	292113	9%	7%	69%	65%
Venezuela	36983	67633	62%	60%	38%	40%
Paraguai	27159	63770	100%	100%	0%	0%
Colômbia	27497	48966	76%	64%	24%	34%
Argentina	18141	37794	36%	26%	50%	67%
México	23478	30698	20%	10%	73%	81%

## CONCLUSÃO

Apesar do constante avanço em relação à implementação de energias renováveis, a tendência de geração de combustíveis fósseis aumentou, principalmente o gás natural, e no caso da Venezuela o óleo.

Em relação à produção de energia hidrelétrica, a participação ao longo dos anos tem sido cada vez menor na porcentagem total da geração de energia. Apesar disso houve aumento de geração na Argentina, Brasil, Canadá, Colômbia, Paraguai e Venezuela. Isso demonstra que, ao longo dos anos, o potencial hídrico nesses países vem sendo amplamente explorado, e mesmo assim, não é suficiente para suprir as demandas energéticas, sendo necessário alguma outra fonte geradora.

No caso do México a produção permaneceu sem muitas alterações durante todos esses anos, além do aumento do uso de fontes fósseis. Esse tipo de comportamento indica pouco incentivo na utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica. Nos Estados Unidos, os investimentos do setor energético estão pouco voltados para a energia hidráulica devido aos incentivos legais e fiscais que facilitam a instalação de outras fontes renováveis.

Ainda assim os países estudados apresentam boas oportunidades para o aumento da geração hidrelétrica sendo necessários estudos futuros para determinar os melhores locais de instalação e tipos de tecnologia a serem implementadas.

**AGRADECIMENTOS** – Ao Grupo de Pesquisa ModelHy, à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – FUFMS, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

## REFERÊNCIAS

- ALEMÁN-NAVA, G. S.; CASIANO-FLORES, V. H.; CÁRDENAS-CHÁVEZ, D. L.; DÍAZ-CHAVEZ, R.; SCARLAT, N.; MAHLKNECHT, J.; DALLEMAND, J.-F.; PARRA, R. (2014). “Renewable energy research progress in Mexico: A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, pp. 140-153.
- BARTLE, A. (2002). “Hydropower potential and development activities”. *Energy policy*, 30(14), pp. 1231-1239.
- BERMANN, C. (2007). “Impasses and controversies of hydroelectricity”. *Estudos avançados*, 21(59), pp. 139-153.
- BIROL, F.; ARGIRI, M. (1999). “World energy prospects to 2020”. *Energy*, 24(11), pp. 905-918.
- BLANCO, G.; AMARILLA, R.; MARTINEZ, A.; LLAMOSAS, C; OXILIA, V. (2017). “Energy transitions and emerging economies: A multi-criteria analysis of policy options for hydropower surplus utilization in Paraguay”. *Energy Policy*, 108, pp. 312-321.
- BROWN, C.E. (2002). “World Energy Resources”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- CANADÁ. (2018). “Small Hydropower”. Natural Resources Canada, Governo do Canadá. Disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/renewable-electricity/small-hydropower/7363>
- DA SILVA, R. C.; DE MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. (2016). “Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, pp. 328-341.
- GUZOWSKI, C.; RECALDE, M. (2008). “Renewable energy in Argentina: Energy policy analysis and perspectives”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(13), pp. 3592-3595.
- IEA. (2019). *International Energy Agency*. Disponível em: <https://www.iea.org/>
- KYDES, A. S. (2007). “Impacts of a renewable portfolio generation standard on US energy markets”. *Energy Policy*, 35 (2), pp. 809-814.

- MORALES, S.; ÁLVAREZ, C.; ACEVEDO, C.; DIAZ, C.; RODRIGUEZ, M.; PACHECO, L. (2015). “*An overview of small hydropower plants in Colombia: Status, potential, barriers and perspectives*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp. 1650-1657.
- PAO, H.-T.; FU, H.-C. (2013). “*Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, pp. 381-392.
- PEREIRA JUNIOR, A. O.; SOARES, J. B.; OLIVEIRA, R. G.; QUEIROZ, R. P. (2008). “*Energy in Brazil: Toward sustainable development?*”. *Energy Policy*, 36(1), pp. 73-83.
- PIETROSEMOLI, L.; MONROY, C. R. (2013). “*The impact of sustainable construction and knowledge management on sustainability goals. A review of the Venezuelan renewable energy sector*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, pp. 683-691.
- SCHAUBE, P.; ORTIZ, W.; RECALDE, M. (2018). “*Status and future dynamics of decentralised renewable energy niche building processes in Argentina*”. *Energy Research & Social Science*, 35, pp. 57-67.
- VAN DE GRAAF, T. (2012). “*Obsolete or resurgent? The International Energy Agency in a changing global landscape*”. *Energy Policy*, 48, pp. 233-241.
- WEI, Y.-M.; LIAO, H. (2016). “*Energy Economics: Energy Efficiency in China*”. Springer International Publishing Switzerland.