

AVALIAÇÃO DA CO-COMBUSTÃO DE CARVÃO E BIOMASSA UTILIZANDO O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)

Isabella Ikeda

isaikeda.ii@gmail.com

Gabriel Concentino de Oliveira

gabriel_concen@me.com

Natalia Ribeiro Galina

nsribeiro2@gmail.com

Lucio Garcia Veraldo junior

Lucio.veraldo@lo.unisal.br



A combustão de combustíveis fósseis como o carvão, provoca um aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) principalmente dióxido de carbono (CO₂), que tem vínculo direto com o aquecimento global. Assim, o aumento do uso de fontes renováveis, como a biomassa, para a produção de energia é uma solução para aliviar a crise e os impactos negativos sobre o meio ambiente. A co-combustão de carvão e biomassa é estudada como uma alternativa a curto prazo ao problema da energia e do meio ambiente e é considerada a forma mais vantajosa de utilizar os dois recursos. O Brasil tem grandes reservas de carvão e biomassa, como o bagaço de cana-de-açúcar. O AHP (Analytic Hierarchy Process) será aplicado para identificar a melhor condição de processo da co-combustão de carvão-biomassa.

Palavras-chave: biomassa, Carvão, Co-combustão, AHP

1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente atingiu seu auge com o efeito estufa, depois que se constatou que, não obstante as aparências, o ciclo do carbono não estava em equilíbrio, que no fim de cada ano restava um saldo de três bilhões de toneladas, que se juntava à atmosfera, que ameaçava o clima, de maneira provavelmente irreversível (KLOETZEL, 2017).

A queima de combustíveis fósseis para a geração de energia causa um aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente dióxido de carbono (CO₂), que está diretamente relacionado com o aquecimento global (SPECHT; REDEMANN; LORENZ, 2016). De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2016 (ano base 2015), 58,8 % da oferta de energia no Brasil foi proveniente de fontes não renováveis (EPE, 2016).

Comparado a outros combustíveis fósseis, como o petróleo e o gás natural, o carvão mineral detém as maiores reservas disponíveis no mundo, tornando-o um combustível de baixo custo. A utilização do carvão na co-combustão com combustíveis renováveis tende a aumentar nos próximos anos devido à demanda por combustíveis que reduzem as emissões de CO₂, óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x) (FRAU et al., 2014).

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), o Brasil recebe intensa radiação solar durante todo o ano, conseqüentemente, o Brasil possui condições naturais e geográficas favoráveis para o uso da biomassa como recurso energético.

A literatura apresenta estudos que utilizam diferentes configurações de processos para investigar a influência da presença de biomassa na co-combustão com o carvão (MORÓN; RYBAK, 2015). Comparado à queima de carvão puro, a presença da biomassa reduz as emissões de CO₂ e outros GEE, como NO_x e SO_x (ZHOU et al., 2016).

Tomando como base os resultados do trabalho apresentado por Ribeiro (2017) este trabalho investiga a melhor condição de queima da co-combustão de carvão e biomassa através do método de tomada de decisão multicritério AHP. Segundo Saaty (1990) “AHP - Uma abordagem de tomada de decisão multicriterial na qual os fatores são organizados em uma estrutura hierárquica”. A decisão considerando múltiplos critérios é uma área de pesquisa

operacional e métodos de decisão multicritérios são amplamente utilizados quando é necessário fazer escolhas onde as alternativas têm pontos positivos e negativos. Os critérios considerados para esta pesquisa são: Índice de combustão (IC), energia de ativação (E_a) e Poder calorífico superior (PCS).

2. Referencial Bibliográfico

É importante lembrar que em 2014, mesmo com o grande potencial hidráulico do Brasil, o país passou por uma crise hídrica que ocasionou além da escassez de água, a falta de energia elétrica, já que segundo a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) 70% da produção elétrica do país é proveniente das hidrelétricas.

Segundo Jacobi (2015) há a necessidade de enfrentar o uso insustentável da água, na medida em que as mudanças climáticas demandam a gestão do risco e a necessidade de promover transparência e accountability na gestão pública. As consequências sociais, políticas e econômicas que a escassez de água acarreta ao estado de São Paulo coloca a necessidade de mudanças profundas na governança da água nesse complexo cenário.”

Um das possíveis formas de suprir a carência de energia de crises é a energia termoelétrica, que atualmente é mais utilizada por meio de combustíveis fósseis. “A complementaridade às usinas hidrelétricas requeridas para garantir a segurança do sistema é realizada pelo parque térmico, composto por usinas nucleares, a gás natural, óleo, etc. Contudo, dadas às diretrizes e critérios de contratação e despacho da energia térmica, a configuração hidrotérmica não maximiza a eficiência (elétrica) do sistema. As usinas térmicas, exceto as duas nucleares, são despachadas quando os reservatórios já se encontram em níveis reduzidos. Ao mesmo tempo, quando elas são acionadas provocam um custo elevado e incompatível com a modicidade tarifária.” (CASTRO, 2008).

Segundo Gomes (1999) as reservas mundiais de carvão são cerca de quatro vezes superiores à soma de seus dois principais concorrentes: petróleo e gás natural. Além disso, esses dois energéticos têm distribuição muito desigual. O Oriente Médio representa, por exemplo, 66% das reservas, 28% da produção e 5% do consumo de petróleo. América Latina, Venezuela e

México detêm 92% das reservas de petróleo e 79% das de gás natural. A maioria dos países industrializados é altamente dependente de importações e têm suas pequenas reservas no rumo de rápido esgotamento. Extração, transporte e conversão de combustíveis fósseis são colocadas entre as maiores fontes de agressão ambiental. No Brasil, o carvão não poderia se situar fora deste panorama, apesar da escala relativamente modesta em que é utilizado. Desde cerca de uma década, medidas efetivas de fiscalização e controle vêm sendo tomadas, atenuando grande parte dos efeitos nocivos de até então. Em três aspectos mudanças drásticas são notadas: recuperação de áreas lavradas a céu aberto; disposição adequada dos rejeitos de beneficiamento; controle da emissão de particulados nas chaminés das usinas termoeletricas.”

A combustão da biomassa é uma forma de energia com grande potencial para o país, porque as características geográficas e climáticas possibilitam a produção de biomassa o ano todo, entretanto, devido ao seu baixo nível de energia de ativação, é necessário conciliá-la ao carvão.

A utilização da biomassa possui algumas desvantagens, tais como a disponibilidade sazonal, alto teor de umidade, baixo poder calorífico e baixa massa específica. Uma maneira de superar as deficiências na aplicação da biomassa em processos de geração de energia é utilizar a técnica de co-combustão, ou seja, utilizar misturas de carvão e biomassa (LI et al., 2015).

Apesar da alta variabilidade associada às propriedades da biomassa, esta difere consideravelmente, em termos genéricos, de combustíveis como o carvão em parâmetros como a sua composição química orgânica e inorgânica, o seu conteúdo energético e as suas características físicas. De um modo geral, a biomassa caracteriza-se por apresentar maiores teores em umidade e cinzas, menor poder calorífico, menos carbono e mais oxigênio e azoto, maiores teores em sílica e potássio, menos alumínio e ferro, menor densidade e friabilidade, menores teores em enxofre. Em alguns combustíveis derivados de biomassa, verificam-se ainda teores em cloro superiores aos encontrados no carvão. A co-combustão de biomassa encontra-se habitualmente associada à combustão de biomassa e carvão para a produção de energia. Comparativamente à queima isolada de carvão ou biomassa, a co-combustão apresenta vantagens, entre as quais se destacam a redução do total de emissões por unidade de energia produzida (a co-combustão de biomassa com carvão pode permitir diminuir os níveis de emissão de poluentes associados à composição típica destes combustíveis como os óxidos

de enxofre, os metais pesados ou as dioxinas e furanos), a minimização de desperdícios e, dependendo da composição química da biomassa utilizada, a redução dos níveis de poluição do solo e água. (SALEMA, 2008).

A biomassa contém de 70-85% de voláteis em sua composição, enquanto que o carvão mineral possui menos de 40%. Quanto maior a quantidade de voláteis no material menor é sua temperatura de ignição, desta forma, a presença da biomassa reduz a energia necessária para ativar a reação de combustão do carvão (FARROW, 2013).

A co-combustão é uma das técnicas mais vantajosas para utilização da biomassa e redução do uso de combustíveis fósseis. Entre as principais vantagens pode-se destacar o baixo custo e a redução das emissões de CO₂, SO_x e NO_x pela combustão e redução das emissões de CH₄, NH₃, H₂S e outros gases resultantes da decomposição anaeróbia da biomassa. Além disso, a co-combustão da mistura de carvão e biomassa oferece também como vantagem o aumento a participação de fontes renováveis na geração de energia (SAHU; CHAKRABORTY; SARKAR, 2014).

Quanto maior a proporção de biomassa, menor a emissão de GEE. Contudo, a co-combustão de misturas de carvão-biomassa apresenta os melhores resultados para um máximo de 20% em massa de biomassa. Estima-se que a utilização de 10% de biomassa na co-combustão com o carvão mineral poderá reduzir de 45 a 450 milhões de toneladas as emissões de CO₂ até 2035 (SAHU; CHAKRABORTY; SARKAR, 2014).

O conhecimento das características térmicas e cinéticas de combustão da biomassa em misturas com carvão é fundamental para a modelagem de projetos de forno de combustão em escala industrial (GIL et al., 2010). Diferentes métodos e biomassas foram utilizados em pesquisas recentes para avaliação do comportamento térmico de misturas de carvão-biomassa em atmosfera de combustão. A literatura indica que o uso da mistura de carvão e biomassa reduz as emissões de GEE e reduz a energia de ativação necessária para iniciar a reação de combustão. Entretanto, os resultados e conclusões sobre o sinergismo das reações não são conclusivos, devidos às diferentes composições das biomassas e carvão utilizados.

Segundo Riahi (2016) o AHP é um método de decisão multicritério (MCDM) que ajuda o tomador de decisão a enfrentar um problema complexo com múltiplos critérios conflitantes e

subjetivos. Basicamente, o método usa a seguinte estrutura: modelagem de problemas, avaliação de pesos, agregação de pesos e análise de sensibilidade. O AHP tem a vantagem de permitir uma estrutura hierárquica dos critérios, que fornece aos usuários um melhor foco em critérios e subcritérios específicos ao alocar os pesos. Os dados pertinentes são derivados usando um conjunto de comparações pareadas. Essas comparações são usadas para obter os pesos de importância dos critérios de decisão e as medidas de desempenho relativo das alternativas em termos de cada critério de decisão individual.

O método hierárquico de tomada de decisão foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70 e hoje é amplamente utilizado na tomada de decisão em diversas áreas. O método AHP mede os graus de importância entre os critérios e alternativas, as comparações são feitas em pares linguísticos convertidos em pares numéricos (JALAO; WU; SHUNK, 2014). A análise hierárquica faz a decomposição das relações entre os critérios de forma a priorizar seus indicadores e identificar a melhor alternativa, reduzindo as falhas no processo de tomada de decisão (SAATY, 1990).

3. Materiais e Métodos

A aplicação do método AHP foi feita ao levar em consideração quatro opções diferentes de porcentagem de carvão na co-combustão com biomassa, e com três critérios, índice de combustão, energia de ativação e Poder calorífico superior (PCS).

Tabela 1 – Matriz de dados iniciais

Amostra	Índice de combustão	Energia de ativação	PCS
10% BC	2,46	118	18,65
25% BC	2,7	123	18,43
50% BC	4,24	168	18,06
75% BC	7,74	168	17,69

Tabela 2 – Relação entre índice de combustão

Índice de combustão

	10%	25%	50%	75%	Vetor
10%	1	3	5	9	0,52
25%	0,33	1	5	9	0,3
50%	0,2	0,2	1	7	0,13
75%	0,11	0,11	0,14	1	0,03
Σ	1,64	4,31	11,14	26	0,98

Tabela 3 – Relação entre energia de ativação

Energia de Ativação					
	10%	25%	50%	75%	Vetor
10%	1	3	9	9	0,56
25%	0,33	1	9	9	0,34
50%	0,11	0,11	1	1	0,04
75%	0,11	0,11	0,11	1	0,03
Σ	1,55	4,22	19,11	20	0,97

Tabela 4 – Relação entre perda de massa

PCS					
	10%	25%	50%	75%	Vetor
10%	1	0,33	0,14	0,11	0,04
25%	3	1	0,2	0,14	0,08
50%	7	5	1	0,2	0,25
75%	9	7	5	1	0,61
Σ	20	13,33	6,34	1,45	0,98

Tabela 5 – Matriz de Vetores

Matriz de Vetores					
	IC	EA	PCS	V	
IC	1	7	3	0,59	
EA	0,14	1	9	0,3	
PCS	0,33	0,11	1	0,1	
Σ	1,47	8,11	13	0,99	

Tabela 6 – Matriz de Resultados

Matriz de Resultados					
----------------------	--	--	--	--	--

	IC	EA	PCS	V
10%	0,52	0,56	0,04	0,4788
25%	0,3	0,34	0,08	0,287
50%	0,3	0,04	0,25	0,214
75%	0,03	0,03	0,61	0,0877
Σ	0,59	0,3	0,1	

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma análise do processo de co-combustão de misturas de carvão e biomassa com base no método AHP. O objetivo da aplicação do AHP foi determinar a melhor condição de queima em processos de co-combustão. Os dados do processo foram obtidos do trabalho de Ribeiro (2017) e os critérios considerados para a aplicação do AHP foram o índice de combustão, a energia de ativação da reação e o poder calorífico superior (PCS) da mistura.

Os resultados do AHP mostram que a melhor condição de queima da co-combustão de carvão e biomassa é utilizando 10 % de biomassa na mistura. O resultado obtido está de acordo com trabalhos descritos na literatura. Desta forma O AHP mostra-se como uma ferramenta eficiente no processo de tomada de decisão.

O processo de co-combustão de carvão e biomassa mostra-se como uma alternativa para reduzir as emissões de CO₂ na atmosfera. A presença da biomassa na combustão do carvão melhora parâmetros técnicos da queima do carvão.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, p. 63–74, 2008.

CASTRO, Nivalde José de; DANTAS, Guilherme de A. A Importância da Inserção da Bioeletricidade na Matriz Brasileira e o Leilão de Energia de Reserva. **Rio de Janeiro: IFE**, n. 2.227, 2008.

FARROW, T. S. **A FUNDAMENTAL STUDY OF BIOMASS OXY-FUEL COMBUSTION AND CO-COMBUSTION**. Nottingham: University of Nottingham, 2013.

FRAU, C. et al. Characterization of several kinds of coal and biomass for pyrolysis and gasification. **Fuel**, v. 152, p. 138–145, out. 2014.

GIL, M. V et al. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion. **Bioresource technology**, v. 101, n. 14, p. 5601–8, jul. 2010.

GOMES, Aramis Pereira et al. Carvão fóssil. **Estudos avançados**, v. 12, n. 33, p. 89-106, 1998.

JACOBI, Pedro Roberto; CIBIM, Juliana; LEÃO, Renata de Souza. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 27-42, 2015

JALAO, E. R.; WU, T.; SHUNK, D. A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences. **Information Sciences**, v. 270, p. 192–203, jun. 2014.

KLOETZEL, Kurt. O que é meio ambiente. **Brasiliense**, 2017.

LI, S. et al. Co-pyrolysis characteristic of biomass and bituminous coal. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 414–20, mar. 2015.

MORONÍ, W.; RYBAK, W. NO_x and SO₂ emissions of coals, biomass and their blends under different oxy-fuel atmospheres. **Atmospheric Environment**, v. 116, p. 65–71, 2015.

RIAHI, Alireza; MOHARRAMPOUR, Mahdi. Evaluation of strategic management in business with ahp case study: pars house appliance. **Procedia Economics and Finance**, v. 36, p. 10-21, 2016.

RIBEIRO, N. S. Estudo termogravimétrico da combustão e oxicomustão de misturas carvão mineral-biomassa. 2017, 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Câmpus Guaratinguetá, 2017.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SAHU, S. G.; CHAKRABORTY, N.; SARKAR, P. Coal–biomass co-combustion: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 575–586, nov. 2014

SALEMA, David. **Co-Combustão de Biomassa e Carvão em Leito Fluidizado: Impactes nas emissões atmosféricas de NO_x, SO₂, CO, Dioxinas e Furanos e Material Particulado**. 2008. Tese de Doutorado.

SPECHT, E.; REDEMANN, T.; LORENZ, N. Simplified mathematical model for calculating global warming through anthropogenic CO₂. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 102, p. 1–8, abr. 2016.

ZHOU, C. et al. Co-combustion of bituminous coal and biomass fuel blends: Thermochemical characterization, potential utilization and environmental advantage. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 418–427, 2016.