

ANÁLISE TERMO-AMBIENTAL DE USINAS TERMELÉTRICAS DE CICLO COMBINADO DE ALTA EFICIÊNCIA COM O USO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO IMPORTADO VISANDO A SEGURANÇA ENERGÉTICA

Vinícius Santana Trindade¹ (PIBIC), Rogério José da Silva (PQ)¹
Graduando em engenharia de energia, ¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Ciclo combinado. Gás natural. Gás liquefeito. Turbinas.

Introdução

Esta pesquisa trata sobre a implementação de usinas termelétricas de ciclo combinado com o uso de gás natural para proporcionar segurança à matriz energética. O estudo visou fazer a análise termodinâmica, econômica e ambiental de uma planta de ciclo combinado frente ao aumento de fontes renováveis na geração de energia, as quais apresentam grande flutuação na potência gerada. Assim foram estudados os componentes de um ciclo combinado, a turbina a gás, à vapor, a caldeira de recuperação e equipamentos auxiliares. Foi avaliado o custo do gás natural empregado para diferentes origens, com composições distintas. O trabalho foi escrito devido a necessidade de uma fonte de energia de alta eficiência para fornecer segurança à demanda da matriz energética, assim como avaliar o custo relacionado a essa geração.

Metodologia

Na elaboração deste trabalho, foi visada a análise do funcionamento de uma usina termelétrica de ciclo combinado com a aplicação de gás natural como combustível. Desta forma, foram estudados artigos, livros, documentos anuais e sites de empresas e instituições especializadas no assunto, como a *Internacional Energy Agency* (IEA), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a *Internacional Gas Union*. Sequencialmente, foi estudado os principais componentes que compõe em essência o funcionamento de uma termelétrica a gás natural, além da análise dos equipamentos e infraestruturas necessárias para o uso de gás natural liquefeito (GNL). Realizou-se, assim, a descrição dos componentes do ciclo combinado: a turbina a gás, a caldeira de recuperação e a turbina a vapor, além de uma caracterização do gás natural, de diferentes origens, que podem ser empregados. De posse destas informações, foi selecionada uma usina termelétrica existente, recente e de tecnologia avançada, da qual o projeto e os dados puderam ser consultados, sendo essa, *Study on Gas-Fired Combined Cycle Power*

Plant Project in Malaysia, elaborada pela *Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.* Os dados desta planta, combinado a fundamentação teórica feita em conjunto, foram utilizados para a realização de uma análise termodinâmica da planta, obtendo suas eficiências e sua capacidade de geração para o emprego gás natural de diferentes origens, avaliando qual seria o custo para a produção de energia e a quantidade de gás carbônico resultante. Por fim, foi realizada uma análise dos impactos causados pela alta no preço do gás, de como isso afeta a geração e da busca pela suplementação do combustível para atender a demanda de forma segura para a matriz energética.

Resultados e discussão

Este trabalho utilizou de um projeto de planta termelétrica, a qual aplica *state of the art* em termos de tecnologia disponível atualmente, projetada para Malásia, na província de Kuantan, pela *Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.* A planta selecionada utiliza de uma turbina à gás da *Mitsubishi* modelo MHPS – M701J, com geração de 478.000,00 kW, de acordo com o projeto em questão, sendo a produção total da instalação em ciclo combinado visada para 500 - 700 MW.

Foi analisada a composição e o valor de poder calorífico inferior (PCI) estimado do gás natural provido da Nigéria, Noruega, Qatar, Estados Unidos, Austrália e Malásia (Baukal Jr. Charles E., 2012). Os resultados em conjunto dos dados fornecidos pelo projeto da planta foram utilizados para estimar a potência gerada e o custo para a cotação do gás natural para os Estados Unidos, Japão, Europa e para o Brasil, no mês de agosto (Our World in Data, 2022). Esses valores foram compilados na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre o PCI, o consumo e o custo do gás natural de diferentes origens.

Origem do gás natural	PCI estimado	Consumo (m ³ /s)	Custo US\$/dia Europa	Custo US\$/dia Japão	Custo US\$/dia USA	Custo US\$/dia Brasil
Nigéria	36321	31.11	38327.64	12275.60	5420.98	13440.44
Qatar	36910	30.62	37715.55	12079.56	5334.40	13225.79
Noruega	35666	31.68	39031.09	12500.90	5520.47	13687.12
Malásia	37233	30.35	37387.96	11974.64	5288.07	13110.91
Austrália	37974	29.76	36659.01	11741.17	5184.97	12855.29
Estados Unidos	33461	33.77	41602.55	13324.49	5884.17	14588.85

Fonte: (Autor, 2022).

Para completar a análise termodinâmica da planta foi selecionado o gás natural da Austrália, o qual apresentou o maior valor de PCI, 37974 kJ/m³. Em posse do PCI, da potência de saída da turbina de 478.000 kW e da eficiência de 42,3%, é possível determinar a vazão mássica de gás: 29,76 m³/s. Com esse dados iniciais foi realizado o calculada as temperaturas de saída do compressor e da turbina, as quais permitem a obtenção das potências relacionadas ao ciclo da turbina a gás, destacados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de potência do ciclo da turbina a gás.

$\dot{W}_{turbina}$ (kW)	$\dot{W}_{compressor}$ (kW)	$\dot{W}_{liquida}$ (kW)	Potência disponível no gás
833515.99	410702.16	422813.82	553324.00

Fonte: (Autor, 2022).

Considerando os dados resultantes da potência gerada pelo gás natural, foi estudado o ciclo da turbina a vapor, o qual complementa o ciclo combinado. A planta apreseta turbinas operando em três níveis de pressão, baixa, média e alta, sendo calculada a potência e a eficiência para cada uma delas, com os resultados na Tabela 3.

Tabela 3 - Potências e eficiências da turbina a vapor.

Turbina a vapor de alta pressão	Potência disponível	Eficiência
	40005,33	84,18%
Turbina a vapor de média pressão	Potência disponível	Eficiência
	92901,73	74,66%
Turbina a vapor de baixa pressão	Potência disponível	Eficiência
	76306,39	92,77%
Potência total das três turbinas:	209213,44	

Fonte: (Autor, 2022).

A partir disto, conclui-se que a potência elétrica total da planta é de 632027kW e, considerando o resultado estimado para o gás natural de maior PCI, o australiano de 37974 kJ/m³, a eficiência total da planta é de, aproximadamente, 61,80 %.

Conclusões

Os avanços tecnológicos e as políticas atuais de geração de energia, visam a produção de energia eficiente, ecologicamente sustentável e que atenda a crescente demanda por eletricidade. Entretanto, o atendimento da demanda energética global vem enfrentando problemas, com crises ocasionadas por fatores políticos, como o conflito entre Rússia e Ucrânia em 2022, de saúde, como a crise de COVID-19 entre 2019 e 2022, e ambientais, como a crise hídrica que o Brasil enfrentou em 2021 e a Europa e Ásia enfrentam em 2022.

Esses fatores levaram a dificuldade de fornecimento de combustíveis, como o gás natural na Europa, assim como outros impedimentos, como a falta de água para a geração de vapor em termelétricas a carvão, ou como fluido de trabalho, em hidrelétricas (IEA, 2022).

Desta forma, a implementação de formas de geração de energia de alta eficiência e aproveitamento máximo do combustível empregado é essencial para atingir a estabilidade no fornecimento de eletricidade. Portanto, as usinas termelétricas a gás natural de ciclo combinado são uma alternativa capaz de realizar a geração eficaz de energia, principalmente tendo em vista a necessidade de produzir eletricidade de forma mais limpa, porém com flexibilidade de implementação de acordo com a demanda e com um alto potencial a ser fornecido.

O uso do ciclo combinado para estas plantas se torna ainda mais proveitoso ao analisarmos o preço do gás natural, uma vez que esse se demonstrou afetado pelos fatores políticos mencionados anteriormente. Sendo indubitável a necessidade de usufruir ao máximo do potencial energético desse combustível.

Entretanto, existem fatores que precisam ser considerados na aplicação de uma termelétrica de gás natural. O combustível em si demanda investimentos para a entrega segura e adequada, seja na forma de gás natural liquefeito ou por tubulações, faz-se necessária a construção de infraestrutura. Essa, ao longo da motivação deste trabalho, foi evidenciada, uma vez que a interrupção do fornecimento de gás na Europa resultou em novos projetos de adequação para o recebimento e aproveitamento do gás liquefeito (Global Gas Report, 2022).

Neste estudo, demonstrou-se a importância que a qualidade do gás natural tem na potência e eficiência gerada por uma planta, seu o poder calorífico do combustível inegavelmente relacionada a composição química do mesmo. Assim, faz-se necessário o planejamento de qual será a fonte do gás aplicado tendo em vista o quanto se espera gerar de energia elétrica. Outro ponto destacado no decorrer deste estudo é a seleção da turbina à gás que será selecionada, pois a eficiência térmica desta influenciará não só em sua geração, mas também na geração de calor fornecido ao restante do ciclo combinado.

A análise da planta de Kuantan, com o uso de um gás com alto PCI, 37964 kJ/kg, permitiu a obtenção de uma potência elétrica gerada de 632027.27 kW a uma eficiência de aproximadamente 61.8%, um valor que seria produzido de forma constante, em uma usina que necessita de pouco tempo para integrar-se a uma matriz energética. Isso faz com que a operação conjunta de fontes renováveis e termelétricas de ciclo combinado se complementam, uma vez que, como foi relatado neste trabalho, as fontes “limpas” tendem a ser variáveis e condicionadas ao comportamento climático adequado. Ou seja, uma geração dessa capacidade é capaz de fornecer segurança ao sistema elétrico frente a imprevistos ou falhas.

Agradecimento

Eu, Vinícius Santana Trindade, agradeço ao CNPq e ao professor Rogério José da Silva pela oportunidade de pesquisa.

Referências

INTERNATIONAL GAS UNION, **Gas Global Report**. 2021.

INTERNATIONAL GAS UNION, **Gas Global Report**. 2022.

INTERNATIONAL GAS UNION. **Global Natural Gas Insights**. 2021.

AMERICAN PUBLIC POWER ASSOCIATION. **America's Electricity Generation Capacity**. 2020.

TOKYO ELECTRIC POWER SERVICES CO., LTD. **Study on Gas-Fired Combined Cycle Power Plant Project in Malaysia**. 2016.

GULEN, S. Can. **Gas Turbine Combined Cycle Power Plants**. CRC Press Taylor & Francis Group. 2020.

Saravanamuttoo, H.I.H et. al. **Gas Turbine Theory**. 7ª edição. Pearson Education Limited. 2017.

ROLLS-ROYCE plc. **The Jet Engine**. 5ª edição. 1996.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Data and Statistics**. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Boletins da Operação**. 2021/2022. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/boletins-da-operacao>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Histórico de Operação**. 2021/2022. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx

THE WORLD BANK. **Commodity Markets**. 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

[Charles E. Baukal Jr.](#) **The John Zink Hamworthy combustion handbook**. 2ª edição. Volume 1. 2012.