



## RELATÓRIO TÉCNICO

# PROPOSTA DE ARQUITETURA ECOEFICIENTE AUTOMATIZADA EM TORRE DE RESFRIAMENTO DE CICLO RANKINE Á CARVÃO

Marcelo de Oliveira e Souza  
Luis Fernando de Almeida



## 1 | Introdução

No cenário atual da geração por usinas térmicas no Brasil, a demanda de energia, consumo, ausência e presença de chuvas nas regiões Sul e Nordeste, ocasionando o enchimento dos reservatórios das hidrelétricas ou não, o órgão responsável pela coordenação das empresas geradoras e transmissoras de Energia Elétrica no Sistema Interligado Nacional é o ONS (Operador Nacional de Serviço, com sedes em Brasília, Rio de Janeiro, Florianópolis e Recife), o qual solicita para as usinas manterem, diminuïrem ou aumentarem a sua respectiva geração seja ela uma usina térmicas, eólicas e hidrelétricas seguindo a sua matriz de prioridades (ONS, 2023).

As usinas termelétricas utilizam o ciclo termodinâmico Rankine e, devido a sua limitação termodinâmica, possuem um rendimento térmico que varia entre 20 a 37%. Por isso, o ganho na sua eficiência térmica é muito valorizado, principalmente, em momentos desfavoráveis em termos econômicos, já que o desejável é obter a geração projetada com menos consumo.

A literatura apresenta alguns estudos relacionado a otimização e aperfeiçoamento no processo das torres de resfriamento de usinas termoelétrica. Lima (2019) propõe a otimização do consumo de energia elétrica de torres de resfriamento a partir do



controle de acionamento dos respectivos ventiladores e bombas de circulação, além da melhoria na instrução de trabalho dos operadores, os quais frequentemente são responsáveis pela gestão da temperatura e, geralmente, utilizam meios manuais para manter o processo estável. Lizarazu (2016) é proposto a utilização de algoritmos de otimização multiobjetivo para a determinação dos *setpoints* ótimos de operação de um sistema baseado em torre de resfriamento e *chillers* de compressão.

É importante destacar que o desenvolvimento de um país, em termos econômicos e tecnológicos, depende da capacidade de energia que a nação detém e planeja para que no futuro disponibilize ao mercado as condições de crescimento. Assim, os investimentos financeiros de empresas brasileiras ou estrangeiras devem ter como foco a parcimônia de insumos (matérias-primas) e capital, além de ter a atenção com o meio ambiente por meio de soluções de engenharia. Há que se considerar ainda que no Brasil, apesar dos elevados custos da energia elétrica, a maioria das empresas, salvo algumas exceções, estão somente dando atenção a este tema recentemente diante do aumento dos preços de energia.





## 1.1 | Objetivo geral

Este trabalho consiste em proposta de arquitetura ecoeficiente automatizada em uma torre de resfriamento de ciclo Rankine à carvão visando o incremento do seu rendimento térmico. A metodologia utilizada neste trabalho consistiu, inicialmente, em uma pesquisa bibliográfica sobre o ciclo Rankine (Vapor), suas aplicações e inovações para melhoria de um ciclo térmico, bem como de levantamento de dados da EDP - Geração de Energia S/A. Posteriormente, é apresentado um estudo de caso de eficiência energética em uma Torre de Resfriamento utilizada em termelétricas para a redução de energia elétrica consumida internamente pelo processo, por meio da instalação de inversores de frequência em substituição do *soft starter* para os controles de velocidade nos motores de indução elétrica dos ventiladores.

## 2 | Método

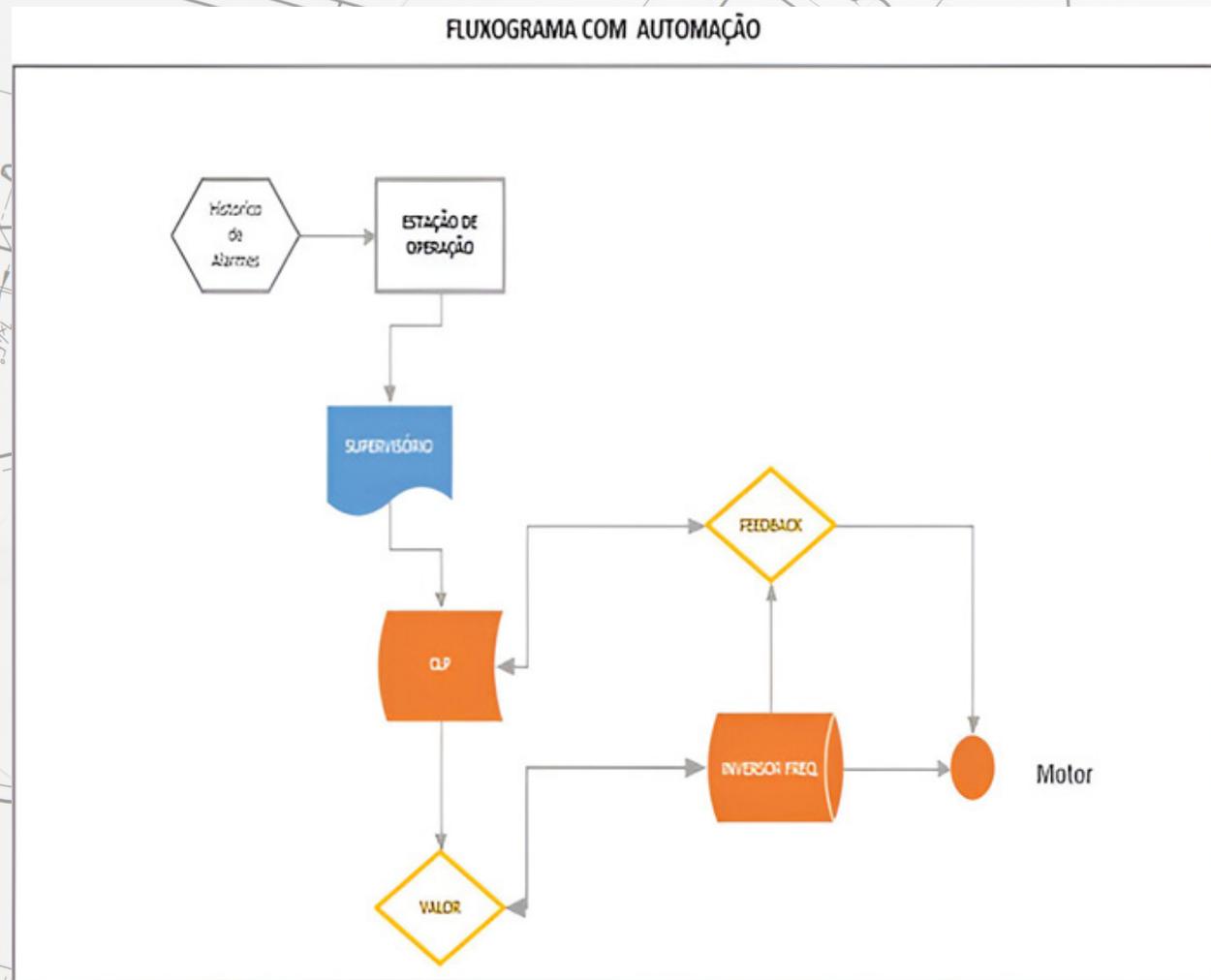
Para a implementação da arquitetura proposta neste trabalho foram utilizados os seguintes componentes: inversor de Frequência ABB ACS CPA 200 kW; painel tipo Armário com Portas de Aço; elemento de temperatura Termopar tipo K; software ABB de configuração de tela para o supervisor, 800XA; 100 metros de cabo tripolar para alimentação do inversor/motor; régulas de bornes tipo parafusos; trilho DIM no interior do painel; malha de Aterramento; disjuntor de proteção tipo Tripolar; parafusos e porcas de fixação dos equipamentos no painel; abraçadeiras de teflon para organização dos cabos no interior do painel; GPS; CLP Siemens Step7-300; switch Hellerman; fibra ótica; conversores óticos; supervisor ABB 800XA.

O desenvolvimento da arquitetura proposta consistiu nas seguintes etapas:

- Análise da arquitetura não automatizada buscando detectar as desvantagens e eventuais problemas.
- Elaboração da nova arquitetura de automação: por meio do controle de velocidade, inversores PWM dos exaustores, foi projetado um modelo dinâmico para torres de resfriamento evaporativo em contracorrente, a partir de conceitos de transferência de calor; foi proposto um controle para esse modelo, conforme ilustrado na Figura 1, variando a vazão de ar, a fim de manter a temperatura de saída, para diferentes condições de operação.
- Estudo de caso em uma termoelétrica da EDP: realizado em uma das maiores geradoras de energia elétrica no Brasil, Energia Pecém/EDP que gera 720 mW em ciclo térmico Rankine, por meio de duas turbinas a vapor com a capacidade de geração de 365 mW cada.

A Figura 1 ilustra o fluxograma de operação do processo de automação da torre de resfriamento com inversor de frequência.

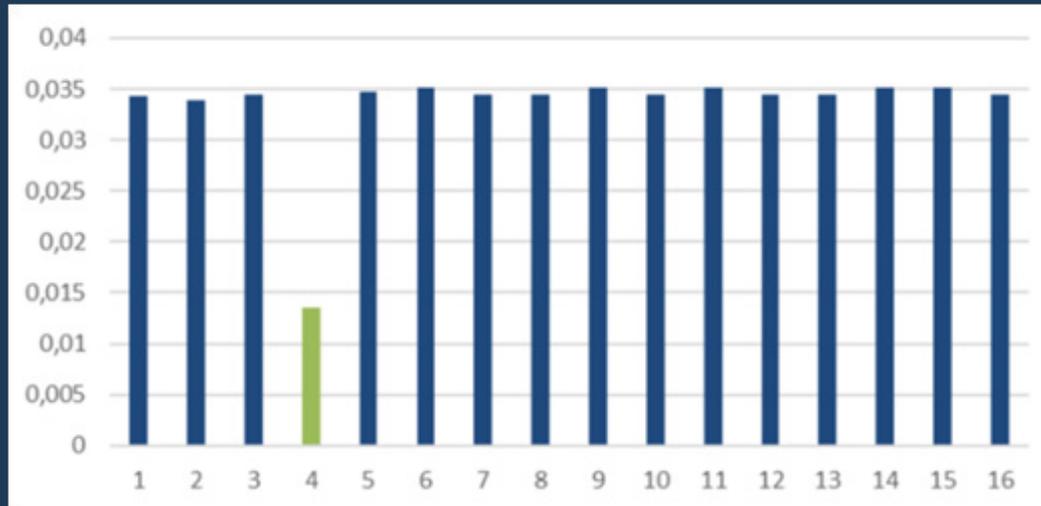
**Tabela 1** | Fluxograma da automação da torre de resfriamento com inversor de frequência não tem uma figura com melhor resolução?



### 3 | Resultados e Discussões

A fim de avaliar a proposta da arquitetura automatizada, três aspectos foram considerados: consumo de energia durante o funcionamento dos ventiladores das torres de resfriamento de água para o condensador da turbina, o custo versus benefício para a instalação destes equipamentos necessários e contribuição ambiental da arquitetura. A Figura 2 apresenta os dados coletados no período entre 04/01/2022 e 29/12/2022, considerando a célula 4 operando com a arquitetura automatizada.

**Figura 2 |** Gráfico comparativo de consumo entre as células da torre de resfriamento com implementação de arquitetura automatizada para a célula 4.





Para a análise de custo versus benefício foram observados os seguintes aspectos: informações dos custos com e sem a implementação da automação; informações dos custos de manutenção com e sem a implementação do sistema de automação. Visto que, atualmente, somente uma célula foi implementada a automação, os dados demonstram este cenário. A Tabela 1 apresenta um comparativo dos custos envolvidos quanto ao consumo anual de energia da arquitetura com e sem automação e a Tabela 2 verifica-se o comparativo dos custos envolvidos quanto à manutenção para cada tipo de arquitetura.

**Tabela 1 | Comparativo dos custos de consumo de energia com e sem a implementação da automação.**

Número de Ventiladores	Consumo anual sem automação (MWh)	Consumo anual com automação (MWh)	Valor Médio do MWh	Valor total sem automação (R\$)	Valor total com automação (R\$)
1	360	310	200,00	72.000,00	62.000,00
16	5.760	4.960	200,00	1.152.000,00	992.000,00

**Tabela 2 | Comparativo dos custos de manutenção com e sem a implementação da automação.**

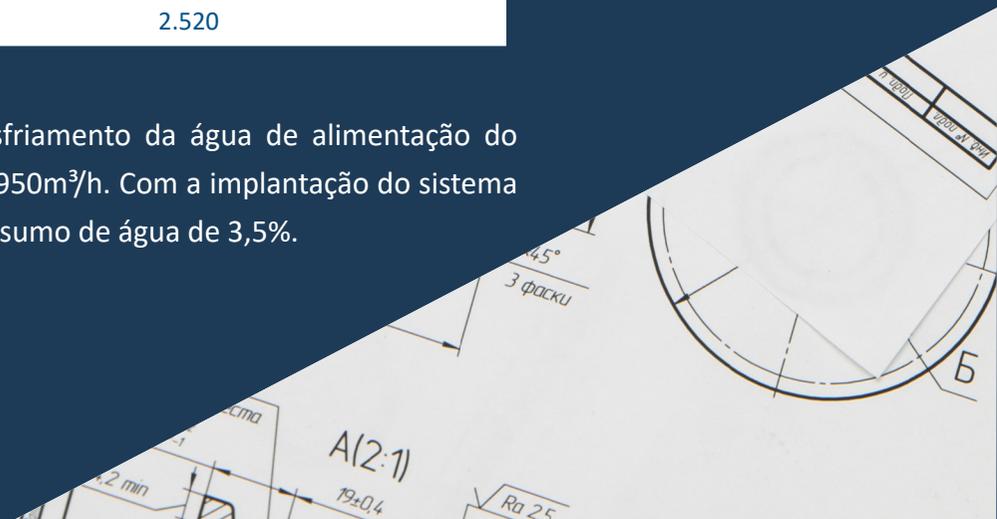
Número de Ventiladores	Custo Total sem automação	Custo total com automação
1	120.000,00	68.000,00
16	1.920.000,00	1.088.000,00

O custo para implantação da arquitetura automatizada para uma célula é de R\$230.000,00, e, por conseguinte, tem-se o valor de R\$3.680.000,00 para 16 células. Considerando, conforme apresentado nos resultados anteriores, a redução anual de R\$160.000,00 e R\$832.000,00, respectivamente, para o consumo de energia e custo de manutenção, o *payback* para a arquitetura com automação é de 3 anos e 7 meses. Outro fator importante com a implantação do projeto refere-se à emissão de gás CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Com a implementação do projeto de automação das células da torre de resfriamento, será possível a maior condensação do vapor no condensador da turbina, refletindo diretamente no rendimento de vapor superaquecido assim diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub> na chaminé de carvão da térmica, conforme ilustrado na Tabela 3.

**Tabela 3 | Comparativo de emissão de CO<sub>2</sub>**

Arquitetura	Emissão de CO <sub>2</sub> (t/h)
Sem automação	5.750
Com automação	2.520

Por fim, a torre de resfriamento possui a função de resfriamento da água de alimentação do condensador da turbina, com uma vazão de consumos de 950m<sup>3</sup>/h. Com a implantação do sistema de controle automatizado, foi possível uma redução de consumo de água de 3,5%.





## Referências

LIMA, F. C. **Otimização energética de torre de resfriamento**: estudo de caso. 2019. 74f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2019.

LIZARAZU, M. S. D. **Otimização Multiobjetivo Aplicada à Eficiência Energética de Torres de Resfriamento**. 2016. 237 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Eletrônica) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>  
Acesso em: 31/08/2023.

**Marcelo de Oliveira e Souza | Mestre | [marcelo.souza@edpenergiapecem.com.br](mailto:marcelo.souza@edpenergiapecem.com.br)**

**Luis Fernando de Almeida | [luis.almeida@unitau.br](mailto:luis.almeida@unitau.br)**

**DOI: <https://doi.org/10.69609/1516-2893.2024.v30.n2.a3869>**

**Universidade de Taubaté - Março/2024**

---

**Área: Engenharia Térmica**

**Data de conclusão da pesquisa: Março/2024**

**Link para trabalho completo:**

**Curso de pós-graduação ao qual o trabalho está vinculado:**

**Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica.**

