



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 08, pp. 57872-57876, August, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.24951.08.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## VIABILIDADE DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM MÁQUINAS DE FUNDIÇÃO LPDC

\*Marcelo Souza de Ouro and Paulo Francisco da Silva Ribeiro

Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnologia – FUCAPI

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 02<sup>nd</sup> June, 2022  
Received in revised form  
14<sup>th</sup> June, 2022  
Accepted 19<sup>th</sup> July, 2022  
Published online 17<sup>th</sup> August, 2022

#### Key Words:

Eficiência Energética;  
Injeção plástica; LPDC.

\*Corresponding author:  
Marcelo Souza de Ouro

### ABSTRACT

O artigo trata, da redução do consumo de energia elétrica em máquinas de fundição LPDC, em uma empresa do Polo Industrial do Amazonas, na área de injeção plástica. Neste sentido foi levantando os seguintes questionamentos: será possível obter eficiência energética com o desenvolvimento do motor que controlasse a frequência entre as bobinas de velocidade? Será que após a aplicação do novo controle de frequência a Fábrica atingirá sua meta de redução nos gastos em 35% até 2030 e por consequência redução poluentes? Dado o exposto o artigo teve como objetivo principal o desenvolvimento de um motor que pudesse efetuar o controle de frequência entre suas bobinas de velocidades. Para tanto buscou-se uma análise fria através do método de estudo de caso de todo o processo e entender em qual parte do processo se precisaria de uma velocidade maior ou menor. Da qual também foi apresentado as características construtivas do motor e o princípio de funcionamento do mesmo com adição do controlador de frequência em sua estrutura e com isso foi possível efetuar de forma bem simples e automática durante o processo o controle de velocidade do motor feito da inserção do controlador de frequência no mesmo. As vantagens obtidas a partir da aplicação dos conversores de frequência, são significativas, como maior confiabilidade do mecanismo, controle preciso da temperatura do processo, redução do ruído do motor e um dos pontos mais relevantes é a economia energética do equipamento. O controle de velocidade do motor, reduz a tensão aplicada à carga, diminuindo assim a potência consumida.

Copyright © 2022, Marcelo Souza de Ouro and Paulo Francisco da Silva Ribeiro. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Marcelo Souza de Ouro and Paulo Francisco da Silva Ribeiro, 2022. "Viabilidade de redução do consumo de energia elétrica em máquinas de fundição lpdc", *International Journal of Development Research*, 12, (08), 57872-57876.

## INTRODUCTION

A automação é uma das áreas que mais tem avançado nas últimas décadas, e com isso cresce a necessidade do mercado por qualidade, segurança e a produtividade (NATALE, 2018). A automação é uma ferramenta usada em diversos seguimentos como Indústrias de bebida, papel e celulose, química, automobilística, mineração e petroquímicas (SCHWAB, 2017). Segundo Santos (2011), a automação também permite o surgimento de novos produtos, como as usinas nucleares, pois não é possível controlar temperaturas tão sensíveis dentro da parte central do reator com a intervenção humana. Em um sentido mais específico, podemos definir automação como qualquer operação contínua e integrada de um sistema de produção racionalizado que utiliza eletrônica e/ou outros equipamentos para regular e coordenar a qualidade e a quantidade de produção. Contudo, um fator importante durante o processo de automação, segundo Tauil (2017), está relacionado à economia de energia, pois essa redução pode ser implementada pela possibilidade de instalação de sensores de

movimento que detectam a presença humana. Desta forma, devido aos sensores o sistema só mantém as luzes acesas quando alguém está presente no recinto, auxiliando a reduzir o consumo de energia elétrica. Além dos sensores de presença, existe um recurso que pode ser usado com auxílio da automação, são os soquetes inteligentes. Com eles, é possível programar um equipamento doméstico ou industrial para que esse seja ligado ou desligado em um horário específico do dia. Outra vantagem dos soquetes, é que eles desligam quando detectam que estão alimentando uma carga em *standby*, mostrando assim, outra ótima maneira de economizar dinheiro (TAUIL, 2017). Compilado pela GS1 Brasil em parceria com a GfK, o Índice de Automação de Mercado Brasil fornece dados de automação em três áreas: Consumidor, Industrial e Comercial e Serviços, medidos em uma escala de 0 a 1. Esse indicador auxilia na identificação de gargalos na produção, e ao mesmo tempo, mostra onde as empresas devem investir em tecnologia para melhorar a competitividade e a produtividade (COSTA; EUDES, 2012). Mesmo em meio à crise provocada pela pandemia do coronavírus, o Índice Brasileiro de Automação de Mercado 2021, que mede o nível de

automação das empresas dos setores industrial, comercial e de serviços, atingiu a marca de 0,267, um aumento relativo de 3% em relação a 2020. Em 2016, o índice aumentou 7% desde que começou a medir (DA SILVA, 2014). O setor industrial consumiu cerca de 67.021GWh energia elétrica no ano de 2021, segundo Balanço Energético Brasileiro. Com base nessas informações, torna-se relevante a utilização de equipamentos mais eficiente nos processos produtivos, visando à redução de CO<sub>2</sub> gerada pela empresa e o consumo de energia elétrica nas indústrias. Por um lado, se as emissões globais de carbono aumentaram 210 milhões de toneladas por ano no triênio 2016-2019 em relação ao período 2011-2015, o estudo mostra que em 2020, a pandemia de Covid-19 fez com que as emissões de carbono caíssem cerca de 100 milhões de toneladas em relação a 2019. Nível caiu 7%(PMR, 2020). Para os especialistas, as restrições parecem fornecer uma espécie de botão de pausa nas emissões de dióxido de carbono, em grande parte por causa de interrupções generalizadas no setor de transporte.

De acordo com o último relatório do Balanço Energético Brasileiro (BEN), com base em 2021, o setor industrial do Brasil consome cerca de 210.083 GWh de eletricidade, equivalente a 34,4% da geração doméstica de eletricidade do país. Sabe-se que 68% desse consumo vai para o sistema motor. E com base nessas informações, use mais Processo de produção eficiente projetado para reduzir o consumo de energia elétrico (EPE, 2021). Os sistemas autogeradores são classificados pelo seu modo A operação pode ser basicamente dividida em três formas: modo contínuo, modo de espera e modo mestre. No modo de operação contínua, o sistema de geração de energia. Existe um sistema de trabalho fixo na localidade, e os proprietários são geralmente franqueados de energia fora da rede de distribuição, são os possui seu próprio sistema solar ou autoprodutores de transmissões. O sistema operacional de isolamento não permite operação, sincronize com franqueados locais. No modo de operação em espera, o sistema A geração de energia é usado principalmente para fins de geração de energia de emergência, recomendado para situações como falta de energia danos a pessoas, processos ou equipamentos (CUMMINS, 2018; COPEL, 2018; STEMAC, 2017).

Segundo Pinheiro (2004), a automação possibilita a execução de comandos para adquirir dados, ajustar parâmetros e controlar a funcionalidade sem requerer de intervenção por mão humana, isto quer dizer, automaticamente. Através da automação, é possível realizar da tarefa mais simples à mais complexa, ou seja, a integração permite controlar um dispositivo de maneira inteligente, independente que seja de modo individual ou coletivamente, elevando e aprimorando assim os quesitos como conforto, informação e segurança. Como parte dos diversos aspectos que se veem beneficiados com a automação em procedimentos industriais, ressalta-se o considerável ganho em eficiência energética e, por consequência, a redução dos custos para a empresa, tornando-a mesma mais competitiva (MARTINS, 2014). Como exemplo de como pode acontecer esta redução de gasto energético, podemos citar os sistemas de termostato, que contam com a possibilidade de detectar altas temperaturas, sendo este o sinal para acionar a refrigeração, podendo ser programada a temperatura limite para o acionamento do mesmo, ou seja, devido a automatização do citado processo, a refrigeração não se mantém ligada em tempo integral, proporcionando assim maior economia energética. Dito exemplo pode ser considerado básico, no entanto, nele pode presenciar-se de forma explícita como isto pode beneficiar em diferentes áreas industriais. A vista disso, pode-se considerar que automação e redução de gastos são conceitos que estão diretamente relacionados (MORAES; CASTRUCCI, 2001). Questões norteadoras será possível obter eficiência energética com o desenvolvimento do motor que controlasse a frequência entre as bobinas de velocidade? Será que após a aplicação do novo controle de frequência a Fábrica atingirá sua meta de redução nos gastos em 35% até 2030 e por consequência redução poluentes?

Dado o exposto, este artigo tem como objetivo principal desenvolver um motor que pudesse efetuar o controle de frequência entre suas

bobinas de velocidades, apresentando um sistema de frequência variável para controle da velocidade das máquinas de fundição, maximizando sua eficiência, e oportunidades de melhoria no processo produtivo, além disso, o sistema diminuirá o consumo de energia nos equipamentos, principalmente nas bombas hidráulicas, possa ser reduzido utilizando sistemas de frequência variável.

## REFERÊNCIA TEÓRICO

**Máquina de Fundição LPDC:** A fundição de baixa pressão (LPDC) é um processo comumente usados em fundições hoje, no qual o metal fundido preenche lentamente o molde, reduzindo a turbulência (ARAÚJO, 2011). As aplicações automotivas incluem rodas, bem como componentes de suspensão, direção e motor. As peças não automotivas normalmente feitas pelo processo LPDC incluem dobradores de tubos e carcaças de embreagem. O processo LPDC permite obter peças fundidas de muito boa qualidade metalúrgica. As vantagens do processo LPDC incluem:

- ✓ Alto rendimento alcançável (normalmente acima de 90%)
- ✓ Custos de processamento reduzidos devido à ausência de alimentador
- ✓ Excelente controle dos parâmetros do processo através de um alto grau de automação
- ✓ Boa qualidade metalúrgica, graças ao enchimento lento não turbulento e cinética de solidificação controlada, os fundidos apresentam boas propriedades mecânicas e metalúrgicas, incluindo baixa porosidade.
- ✓ Alto rendimento alcançável (tipicamente acima de 90%).
- ✓ Custo de processamento reduzido devido à ausência de alimentador
- ✓ Excelente controle dos parâmetros do processo através de um alto grau de automação
- ✓ Boa qualidade metalúrgica, graças ao enchimento lento não turbulento e cinética de solidificação controlada, resultando em fundidos com boas propriedades mecânicas e metalúrgicas, incluindo baixa porosidade.

**Motor de Indução Trifásico:** Os acionamentos de motor CA incluem topologias de loop intermediário e topologias de conversão direta. A topologia de malha intermediária é a mais comumente usada. Nesse caso, a conversão ocorre em duas etapas: a tensão de alimentação CA é retificada para fornecer uma tensão CC ou corrente CC e, em seguida, o link CC é convertido do inversor para tensão CA (STEPHAN, 2013). A topologia de malha intermediária é dividida em VSI (VoltageSource Inverter) e CSI (Current Source Inverter):

a) **VSI:** Nesta topologia, a malha intermediária é utilizada como fonte de tensão. O sinal CA da fonte de alimentação é retificado por uma ponte de diodos e filtrado por um capacitor para obter uma fonte de tensão CC. Os inversores VSI podem ainda ser classificados como PAM (Pulse Amplitude Modulation) ou PWM (Modulação de Largura de Pulso). Outra topologia também incluída nesta categoria é o CRVSI-PWM, que é um conversor VSI-PWM com realimentação de corrente (regulação de corrente).

b) **CSI:** Nesta topologia, o loop intermediário atua como fonte de corrente. O sinal de potência é retificado e uma fonte de corrente é obtida com a ajuda de um indutor.

**Motores e Consumo energetic:** O uso de motoresaltamente eficientes resulta em maior produtividade e economia de energia. A energiaelétrica é um dos insumos mais importantesaplicados pelas indústriasbrasileiras (ARAÚJO, 2011). Consequentemente, o uso racional e eficiente é necessário para reduzircustos e aumentar o nível de competitividade de qualquer empresa. Nem todomundossabe, masos motores elétricos são os principais usuários de energianaindústria. Em média, figuram quase 70 % do total de energiaelétricautilizada em uma plantadeprodução, conforme sinalizamos dados da Eletrobrás / PROCEL, podendoinclusiveatingir quase todoo consumo de energia elétrica em algumaspartes.

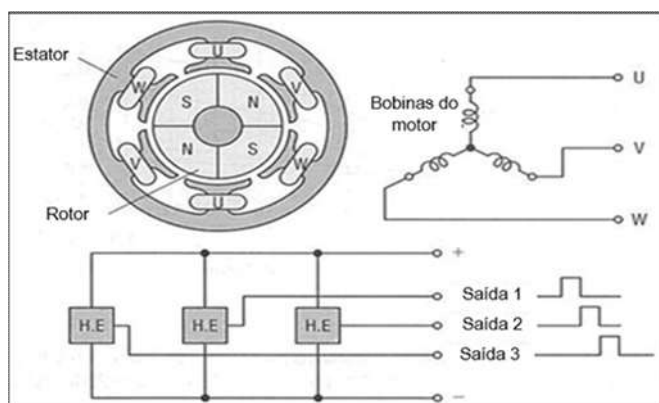
**Gasto de Energia na indústria:** É importante ficar atento a essas informações, pois sinalizam que as empresas podem economizar muito dinheiro substituindo seus motores elétricos em suas linhas de produção por equipamentos mais eficientes e mantendo a manutenção desses equipamentos em dia para que todos os motores remetidos o máximo desempenho com o menor consumo de energia.

**Inversor de Frequência:** É um dispositivo eletrônico com a função de controlar a velocidade de rotação de um motor trifásico. Este tipo de controlador aciona um motor e facilita as mudanças na frequência e tensão fornecidas ao motor, controlando assim sua velocidade e consumo de energia. Assim, garante que o motor funcione em diferentes velocidades sem o uso de dispositivos mecânicos como polias, válvulas e redutores. É um dispositivo muito útil para empresas de todos os tipos e tamanhos, de fácil obtenção e fabricação, e disponível em diversos modelos, tamanhos e potências.

## MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias aplicadas foram de uma breve revisão bibliográfica e aplicação de estudo de caso como estratégias de compreender a teoria e alcançar o objetivo proposto. Segundo De Pádua (2019), a revisão bibliográfica tem como objetivo principal levantar, selecionar, analisar e interpretar dados e conhecimentos teóricos que englobem o tema em questão. Já para Yin (2010) o estudo de caso é uma averiguação da observação de um fenômeno da maneira mais acentuada em seu cenário real. Que por meio das peculiaridades descritivas tem como objetivo mostrar ao leitor uma realidade desconhecida materiais e métodos aplicados na construção de um sistema de variação de frequência para redução do consumo de energia e melhoria da segurança durante o processo de fundição em uma indústria do segmento de plástica na cidade de Manaus/AM. Para desenvolvimento do sistema foi usado um conjunto de peças e ferramentas que serão apresentadas a seguir.

**Estrutura do Motor:** Para a construção do motor, a bobina deve possuir uma configuração Y com três fases: U, V e W. Localizado no estator, o rotor é composto por ímãs em configuração multipolar, conforme mostrado na Figura 1.

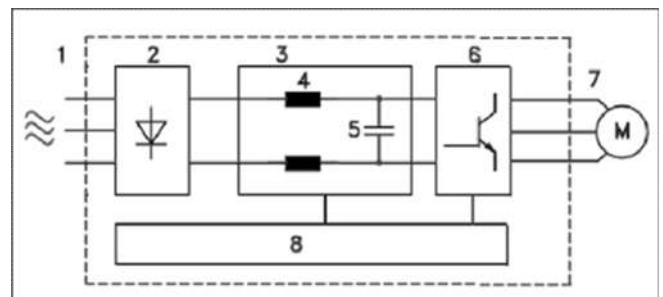


Fonte: SHIRAHATA (2022).

Figura 1. Estrutura do motor sem escova de CC

Dentro do estator, três CIs do sensor Hall estão dispostos como elementos magnéticos de modo que a diferença de fase dos sinais de saída de cada CI do sensor Hall esteja aproximadamente a 120° fora de fase a cada rotação do rotor. A estrutura do motor consiste em uma bobina de fase U, que tem a função de baixa velocidade; uma bobina de fase V que é de média velocidade, enquanto a bobina de fase W, de alta velocidade; enquanto o rotor ímã, tem a função de regular entre uma velocidade e outra fazendo essa mudança sem impacto para o motor. Ao organizar a ordem de execução das tarefas, além do tempo investido em cada uma e os materiais usados, por exemplo, é mais fácil manter a execução do projeto alinhada com as expectativas.

O projeto visa a melhoria da eficiência energética em máquinas de fundição LPDC, onde foi analisado os prós, contras, investimento e, principalmente, o potencial de redução de custos através da economia de energia. Sua estrutura é mantida na seguinte ordem. O retificador consiste na retificação de onda completa do retificador em ponte de tripla fase. Nele, seis ou mais diodos retificam a tensão de entrada trifásica da rede de 60Hz e, em seguida, fornecem uma saída contínua com ondulação, que será corrigida pelo filtro, após o que o barramento CC retifica a ondulação gerada pelo circuito retificador, seguido pelo banco de capacitores que compõe o filtro. Eles corrigem a ondulação de tensão, enquanto o indutor minimiza a ondulação de corrente e, por fim, o inversor opera com corte em ligação aberta e saturação em ligação fechada, levando em consideração a lógica definida anteriormente. A utilização do variador de frequência com inversão deve estar associada a motores assíncronos. Ou seja, motores elétricos de corrente alternada (AC) que utilizam a corrente induzida em seu rotor. O VF (Variador de Frequência) pode ser separado em 5 componentes: um retificador de rede, que converte a corrente alternada em corrente contínua; reatores que filtram a tensão do circuito, aumentam o fator de potência e podem reduzir as harmônicas; um banco de capacitor; um circuito de controle; e por fim, um inversor, que converte a corrente contínua em alternada para a entrada do motor. A figura 2 apresenta o variador de frequência.



Fonte: ISSA (2016).

Figura 2. Variador de frequência

Onde, (1) é a Entrada de energia é o principal ponto de entrada energética das unidades consumidoras; (2) Retificador, circuitos elétricos de tensão elaborados para a conversão de corrente alternada em corrente de passagem; (3) Barramento, funcionar como distribuidor de fase, de aterramento, ou de carga neutra; (4) Reatores, para a limitação da corrente; (5) Banco de capacitor, usado para correção do fator de potência; (6) Inversor, para converter um sinal elétrico CC em um sinal elétrico CA; (7) Saída para o motor, de gases da combustão. O motor possui um princípio de funcionamento baseado em um campo elétrico rotativo, que é gerado quando é alimentado por uma corrente alternada aplicada nos polos do motor, cujos polos estão distantes 120° entre si. A velocidade na qual o motor funciona, chamada de velocidade síncrona, é fornecida pelo campo elétrico rotativo. É determinado em função do número de pólos do motor e em função da frequência que chega à entrada do motor. Matematicamente, a velocidade síncrona ( $N_s$ ) é o produto da frequência ( $f$ ) em Hz dividido por 120 vezes o número de pólos do motor ( $p$ ) ( $N_s = 120.f/p$ ). Onde,  $N_s$ , é a velocidade síncrona em RPM;  $f$ , é a Frequência em Hz; e finalmente,  $p$ , é o número de pólos.

## RESULTADOS

Esta fase compreende os cálculos comparativos de consumo energético, dos atuais motores que se encontram em uso na planta industrial e os ensaios de substituição dos mesmos por motores alto desempenho. Compreende-se que o desempenho de um motor é identificado quando feita a relação entre capacidade mecânica disponível no eixo e a potência abstraída por meio da rede, como apresentado na equação 1:

$$\text{Equação para cálculo de rendimento: } \eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Onde,  $P_u$ , é a Potência Mecânica disponível no eixo em W;  $P_a$ , a Potência Absorvida da rede em W;  $\eta$  é o rendimento do motor em %. Entendendo que cada um dos motores encontram-se operantes ao longo das 24 horas do dia, 312 dias por ano, obtém-se para o atual sistema, o qual faz uso de motores de indução com um desempenho de 89% e capacidade de 100CV, os resultados apresentados abaixo.

Tempo operante = 24h p/ dia x 312 dias p/ ano = 7488 h/ano  $P_u = 100$  CV. 0,736 kW = 73,6 kW:

$$P_a = \frac{73,6 \text{ Kw}}{0,89}$$

Tendo como consumo energético total =  $P_a \cdot t = 82,69 \text{ KW} \cdot 7488 \text{ h} = 619.182,72 \text{ kWh/ano}$ . Levando em consideração que o valor do kWh é R\$ 0,20 apresenta como valor gasto R\$ 123.836,54 por motor, anualmente. Por outro lado, aferindo os resultados obtidos pelo novo sistema, compreendendo o mesmo tempo de operação, sendo ele de 7488 horas por anuais, motor do modelo WMagnet, que conta com um desempenho de 96,5% e capacidade de 100CV, obtém-se:

$$P_a = \frac{73,6}{0,965} = 76,27 \text{ kW}$$

Tendo como consumo energético total =  $P_a \cdot t = 76,27 \text{ kW} \cdot 7488 \text{ h} = 571.109,76 \text{ kWh/ano}$ . Duplicando o valor do kWh pelo consumo energético, o mesmo apresenta um resultado de custo de R\$ 114.221,85 por motor ao ano. Resultando em uma economia de R\$ 9.614,59 por ano, e levando em consideração que serão instalados três motores dos mesmos, a economia total será de R\$ 28.843,77 anualmente, em termos de custo, e 48.072 kWh/ano, no quesito de consumo de energia elétrica, por cada motor, isto é, 144.218 kWh no total pelos três motores. Considerando que a produção mensal média é de 52.000 e o consumo de energia elétrica geral atual da indústria é de aproximadamente 1.226.000 kWh por mês, visto os dados apresentados anteriormente, estipula-se uma economia energética de 12.018,16 kWh, obtendo como nova média de consumo mensal 1.213.981,9 kWh. Portanto, dividindo o consumo energético pelo volume de produção, temos um indicador de 23,34 kWh/TPA, atingindo assim o objetivo traçado de 25 kWh/TPA. Para realizar o cálculo de lucro sujeito a este investimento, temos que o valor gasto para o mesmo será de R\$ 20.000 por conjunto, considerando que os ganhos são de R\$ 9.614,59 anualmente. Logo:

$$PB = R\$ \frac{20.000,00}{9.614,59} = 2,08 \text{ ano}$$

Pegando o valor do investimento e dividindo pela economia ano podemos visualizar que o tempo para se pagar o investimento será de aproximadamente 2 por máquina. Se levarmos em consideração a grande quantidade de máquinas de fundição existente na empresa esse projeto terá um impacto grande de consumo energético após esses dois anos pagando o investimento. A tabela 1 apresenta de uma forma bem simples o valor economizado com o controlador de frequência desenvolvido nos motores das máquinas de fundição da empresa

**Tabela 1. Valor de comparação energético com e sem controlador de frequência**

Máquina de Fundição	Gasto mês de Energia	Controlador de frequência	Economia
MAQ.01	R\$ 1.900,00	SEM	R\$ 0,00
MAQ.01	R\$ 1.100,00	COM	R\$ 800,00

Fonte: próprio autor (2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho elaborado com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica, utilizando um controlador de frequência, destacou a oportunidade de otimização do procedimento de produção, de forma que seja efetivada a citada diminuição de consumo energético.

Devido que o mesmo é um projeto prático experimental, visou-se estudar a proposição de uma solução técnica que considere a eficiência de energia elétrica do sistema, os resultados foram obtidos através de análises realizadas por meio de cálculos comparativos entre as máquinas que operam atualmente na planta com os motores de alto desempenho indicados para esta aplicação, em relação ao consumo e desempenho. No quesito de consumo energético, foram especificados o modelo de máquina, as características e os fundamentos funcionais, além das considerações feitas sobre a utilização de conversores de frequência como aparelhos de controle de velocidade. As vantagens obtidas a partir da aplicação dos conversores de frequência, são significativas, como maior confiabilidade do mecanismo, controle preciso da temperatura do processo, redução do ruído do motor e um dos pontos mais relevantes é a economia energética do equipamento. O controle de velocidade do motor, pode diminuir alterando a frequência e a tensão aplicada à carga, reduzindo assim a potência consumida.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnologia – FUCAPI, à coordenação de engenharia Elétrica.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Amanda Guerra de. Controle vetorial de um motor de indução trifásico aplicado em sistemas de posicionamento. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5315/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 20 jun 2022.
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. Norma Técnica-COPEL NTC 903109. 2018. Curitiba, 2018.
- COSTA, JUNIOR EL; EUDES, L. Gestão em processos produtivos. Curitiba: InterSaberes, 2012.
- CUMMINS. Cummins Power Generator. Manual de Aplicações para Grupos Geradores Arrefecidos a Água (T-030d-07 08/03). Ed. São Paulo, 2018.
- DA SILVA, Douglas Souza et al. Análise do impacto da automação da movimentação interna na produtividade industrial. Revista ESPACIOS| Vol. 35 (Nº 4) Ano 2014,
- DE PÁDUA, Elisabete Matallo M. Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática. Papirus Editora, 2019.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 10 abril 2022.
- ISSA, ISABELA. Gestão De Energia Com Variadores De Frequência (VFDS). MITSIDI PROJETOS. 2016. Disponível em: <https://mitsidi.com/gestao-de-energia-vfds/>. Acesso em: 01 jul de 2022.
- MARTINS, Machado Geomar. Princípios de Automação Industrial. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Engenharia de automação industrial. Rio de Janeiro: LTC, p. p295, 2001.
- NATALE, Ferdinando. Automação Industrial-Série Brasileira de Tecnologia. Saraiva Educação SA, 2018.
- PINHEIRO, José Mauricio Santos. Sistemas de automação. 2004.
- PMR. Partnership for Market Readiness-. Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers. World Bank, 2020. Washington, DC.
- SANTOS, Theotonio dos. Revolução científico-técnica e capitalismo contemporâneo. In: Revolução científico-técnica e capitalismo contemporâneo. 2011. p. 172-172.
- SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. Moeda, 2017.
- SHIRAHATA, Kazuya. Orientalmotor Introdução. Orientalmotor. 2022. Disponível em: <https://www.orientalmotor.com.br/tecnologia/metodos-de-controle-de-velocidade-de-varios-tipos->

- de-motores-com-controle-de-velocidade.html. Acesso em: 01 jul. 2022.
- STEMAC. STEMAC Grupo Geradores. 2017. Disponível em: <http://www.stemac.com.br/pt/produtos/Pages/default.aspx>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- STEPHAN, Richard M. Acionamento, comando e controle de máquinas elétricas. Editora Ciência Moderna Ltda, 2013.
- TAUIL, J. R. Aspectos sociais da automação no Brasil, in Organização, Trabalho e Tecnologia. São Paulo, Editora Atlas, 2017.
- YIN, Robert K. Pesquisa Estudo de Caso-Planeamento e Métodos. 4ª edição. 2010.

\*\*\*\*\*