

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

ESTADO DA ARTE NA TERMOVISÃO DE PARA-RAIOS

SERGIO JÚNIOR RONCATO(1);GUSTAVO GHEDIN DITZEL(2)
CGT ELETROSUL(1);COMPANHIA DE GERACAO E TRANSMISSAO DE ENERGIA ELETRICA DO SUL DO
BRASIL - ELETROBRAS CGT ELETROSUL(2)

RESUMO

Dentre os equipamentos de subestação, os para-raios recebem atenção especial devido à alta solicitação e importância sistêmica. Com o intuito de detectar os estados de pré-falha com antecedência, na CGT Eletrosul os para-raios são submetidos anualmente à inspeção termográfica. Este procedimento requer um fluxo de processos bem estruturado, evitando margens para interpretações subjetivas das equipes executivas, que afetam os resultados e geram alta variabilidade, sobrecarga das Engenharias de Manutenção, e, principalmente, elevado e crescente custo. Este trabalho aplica algumas ferramentas do *Lean Six Sigma*, focando na redução de variabilidade e desperdícios, contrabalanceando os custos inerentes aos processos, imprimindo qualidade e reduzindo taxas de erros.

PALAVRAS-CHAVE

Lean, Six Sigma, Termografia, Para-raios, Otimização de processos, Redução de custos, Padronização, Diagnóstico de falhas.

1.0 INTRODUÇÃO

No processo de manutenção de Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica, a termografia é, atualmente, uma das principais ferramentas em processos preditivos, e fornece subsídios para assegurar a confiabilidade operacional dos elementos que compõem uma subestação de energia elétrica. Dentre os equipamentos de subestação, os para-raios recebem atenção especial devido à alta solicitação e importância sistêmica, pois, estando sujeitos ao risco de falha, podem indisponibilizar Funções Transmissão, e, ainda, no caso de explosões, podem colocar em risco a segurança das pessoas. Se isto não bastasse, há também a possibilidade de danificar equipamentos adjacentes por projeção de fragmentos.

Com o intuito de detectar os estados de pré-falha com antecedência, na CGT Eletrosul, os para-raios são submetidos anualmente à inspeção termográfica específica, em adição às termografias de contatos e conexões gerais da subestação, regulamentadas pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Trata-se de processo que representa aproximadamente 2% do custo de manutenção de equipamentos de subestação.

O processo de termovisão específico dos para-raios consiste em:

- Registrar 03 (três) imagens termográficas no entorno de cada equipamento;
- Tratar imagens termográficas através de software;
- Lançar grandezas no sistema de gestão da manutenção – SAP;
- Comparar as temperaturas internas com a temperatura ambiente e com as dos equipamentos adjacentes, e, em caso de variações maiores que 5° C, passar pela análise da Engenharia de Manutenção; esta, por sua vez, determina a substituição do para-raios, a reanálise ou a rejeição, conforme o caso.

Esse procedimento requer um fluxo de processos bem estruturado, com instruções claras de execução, padronizando as variáveis de controle. Do contrário, há margem para interpretações subjetivas de cada equipe executiva, afetando diretamente os resultados dos processos, gerando alta variabilidade dos valores obtidos, sobrecarga da Engenharia de Manutenção (pelo indicativo de falso sobreaquecimento), e, principalmente, elevado e crescente custeio, decorrente principalmente da aplicação de homem-horas.

Resultados e indicadores de qualidade deste processo também são comprometidos, pois têm altas taxas de variabilidade, que acabam prejudicando o uso da termografia como ferramenta quantitativa. Atualmente, seu uso é limitado a diagnósticos qualitativos. A variabilidade dos resultados dificulta sua utilização como ferramenta quantitativa.

Dentro da totalidade de ordens de manutenção emitidas para o processo na CGT Eletrosul, cerca de 30% são associadas a “rejeição”, ou seja, contêm inconsistências, sendo que metade destas inconsistências são erros ao utilizar a ferramenta SAP, e a outra metade se refere a identificação de falsos defeitos, causada pelos erros de processo. Dentre as Ordens de Manutenção submetidas à análise e laudo da Engenharia de Manutenção, menos de 1% representa real necessidade de ação.

Para sanar, ou ao menos reduzir, os problemas relatados, este trabalho propõe a utilização combinada das metodologias *Lean Production System* (sistema de produção enxuta) e *Six Sigma* (“seis sigmas”) no processo de termografia de para-raios.

2.0 DESENVOLVIMENTO

O *Lean Production System*, ou apenas *Lean*, nasceu na indústria automobilística japonesa, mais especificamente na *Toyota Motors*, e representa muito mais do que um sistema; ele constitui uma cultura que permeia todo processo fabril, buscando a perfeição em todos detalhes construtivos. Através de habilidades analíticas simples, a maioria dos problemas relacionados aos processos são sanados. Contudo, a necessidade de melhoria é contínua, sendo necessária a padronização de tarefas e o desenvolvimento de pessoas de forma sistemática, para se obter estabilidade no processo.

O *Six Sigma* foca em uma metodologia qualitativa, estruturada e disciplinada, tendo como berço os sistemas de produção da *Motorola*, com a principal atribuição de quantificar e reduzir as perdas ao mesmo tempo em que aumenta a qualidade dos processos.

A junção das ferramentas do *Lean Six Sigma* (LSS) atua fortemente na solução de variabilidade e redução de desperdícios, padronização de processos e ferramentas de análise de dispersão, contrabalanceando os custos inerentes aos processos de manutenção, além de imprimir qualidade e reduzir as taxas de erros.

Na CGT Eletrosul os processos de inspeção termográfica geram anualmente cerca de 1900 ordens de manutenção, sendo utilizadas aproximadamente 2660 horas para execução (sendo visualizadas como HH – homem-hora), das quais boa parte são noturnas, incidindo em horas extras. As variações de tempos para execução, considerando os 15 centros de manutenção da CGT Eletrosul, são de até 270%, quando comparados o maior tempo em relação à média, conforme a Tabela 1.

Outro agravante é a falta de estabilidade do tempo necessário para a execução do processo. A metodologia mais utilizada na Engenharia de Processos para medir o desempenho de um processo (de serviço) é conhecida como *Lead Time*, que é a quantidade de tempo gasta para executá-lo, em termos do tempo médio de HH por serviço. Estes valores apresentam um crescimento de aproximadamente 20% ao ano, como mostra a Figura 1

Tabela 1 - HH deslocamento/execução por ordem.(Fonte: SAP)

CENTRO	% HH APLICADO EM DESLOCAMENTO	% HH SEM DESLOCAMENTO	% TOTAL PARA EM OPERAÇÃO	% HH SEM DESLOCAMENTO / % TOTAL PARA EM OPERAÇÃO
CR01	66%	0,02	0,02	0,81
CR02	18%	0,12	0,06	1,83
CR03	31%	0,01	0,06	0,09
CR04	23%	0,02	0,03	0,57
CR05	25%	0,09	0,10	0,98
CR06	21%	0,09	0,12	0,78
CR07	36%	0,02	0,02	0,99
CR08	15%	0,08	0,07	1,13
CR09	15%	0,04	0,04	1,10
CR10	19%	0,06	0,07	0,86
CR11	36%	0,07	0,04	1,80
CR12	0%	0,00	0,08	0,00
CR13	32%	0,03	0,03	1,11
CR14	13%	0,15	0,11	1,32
CR15	6%	0,19	0,14	1,44
TOTAL / MÉDIA	21%	1,00	1,00	0,66

Os indicadores crescentes de tempo são um sinal de alerta, pois sinalizam sobrecarga para as equipes envolvidas e aumento de custo operacional.



Figura 1 Gráfico HH por PS/Ordem (Fonte SEMAE)

Dentro das ferramentas disponíveis no LSS, o diagrama de causa e efeito (*Ishikawa*), visto na Figura 2, proporciona uma visão holística dos componentes do processo, possibilitando identificar os problemas.

Para atuar nos quesitos de qualidade, o principal alicerce é a padronização de processos, sendo necessária a revisão dos aspectos inerentes ao meio, isto é, a determinação de todas as variáveis de contorno, tendo como referencial teórico os trabalhos já consolidados na área de termografia.

Nesta etapa, algumas variáveis foram ratificadas, como umidade relativa do ar e velocidade dos ventos. Além disto, outras foram implantadas, como horário de início da inspeção (influência solar) e posicionamento ergométrico.



Figura 2-Diagrama de causa e efeito.

Dentro da metodologia, houve a necessidade estratificar as etapas, não havendo clareza do processo como um todo, pois cada equipe tinha sua própria visão do mesmo, tornando-o subjetivo. Sendo assim, sua modelagem iniciou-se com a definição de:

- Metodologia de aquisição de imagens;
- Metodologia de tratamento de imagens e lançamento de dados no sistema SAP;
- Metodologia de análise pela Eng. de Manutenção.

O foco principal de cada metodologia está na redução de desperdícios e de erros. Estes sempre existirão, porém, com ações simples, podem, e devem, ser mitigados.

Dentro da metodologia de aquisição de imagens, foram adotadas técnicas de planejamento, como a marcação prévia de pontos de inspeção no solo da subestação, conforme Figura 3, sendo estes simulados previamente através de ferramentas computacionais, destacadas na Figura 4. A execução conta com o auxílio de medidores de distância a *laser*, com o intuito de:

- Eliminar pontos de radiação (reflexos de equipamentos próximos);
- Definir melhor a distância para cada objeto inspecionado, de acordo com a resolução do instrumento e com as dimensões do para-raios;
- Definir as melhores posições angulares possíveis, visando obter imagens da circunferência da seção do para-raios.

As marcações observadas na Figura 3, foram realizadas com tinta viária diretamente na brita da subestação, em 2018, e continuam visíveis.



Figura 3-Fotos das marcações dos pontos de inspeção

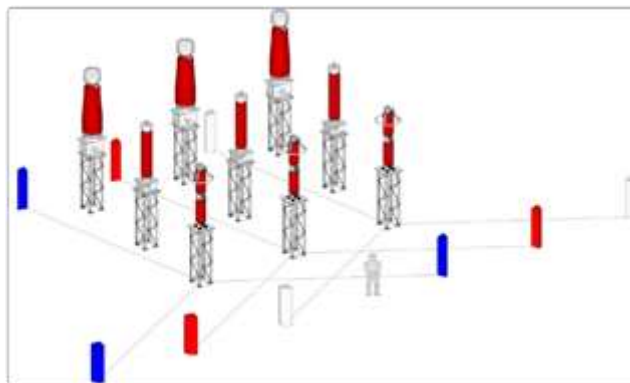


Figura 4-Simulação dos pontos de inspeção termográfica.

Quanto aos desperdícios, por se tratar de um serviço noturno sem iluminação artificial, sugere-se rotas de inspeção definidas previamente durante a etapa de planejamento, através de simulações computacionais, conforme Figura 5. Estas rotas apresentam um deslocamento coordenado, otimizando o tempo de execução ao imprimir um ritmo sequencial de aquisição de imagens.

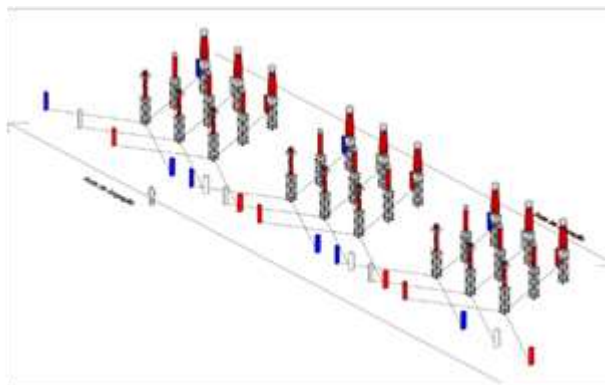


Figura 5- Rotas de inspeção termográfica

Tendo definido os pontos e as rotas de inspeção, é possível impor estabilidade ao processo, pois: a) elimina-se a subjetividade do inspetor; b) a variável *distância* é fixada; e c) a repetibilidade em anos posteriores é garantida. Em outras palavras, ainda que nos anos seguintes a aquisição de imagem seja realizada por um técnico diferente, esta estará sob a mesma óptica das aquisições anteriores. Respeitando-se as variáveis de controle e a calibração correta do instrumento, as imagens terão maior representatividade na análise de possíveis defeitos, pois permitirão efetiva intercomparação.

Dentro da metodologia de tratamento de imagens e lançamento de dados no sistema SAP, muitos equívocos grosseiros de aquisição de dados e de interpretação refletem na elevada taxa de rejeição e na propagação de erros sistêmicos, que acabam trazendo sobrecarga às equipes de campo e, posteriormente, à Engenharia de Manutenção. Nesta etapa, foram desenvolvidas ferramentas computacionais para aquisição, tratamento de dados e interface com o sistema SAP.

No processo de tratamento de imagens, realizado no *Software Flir Tools*, as áreas dos equipamentos são selecionadas em caixas, como pode ser visto na Figura 6, e seus valores de temperatura são exportados em forma de dados. Estes são, posteriormente, processados via uma planilha Excel com uma programação desenvolvida em VBA (*Visual Basic for Application*).

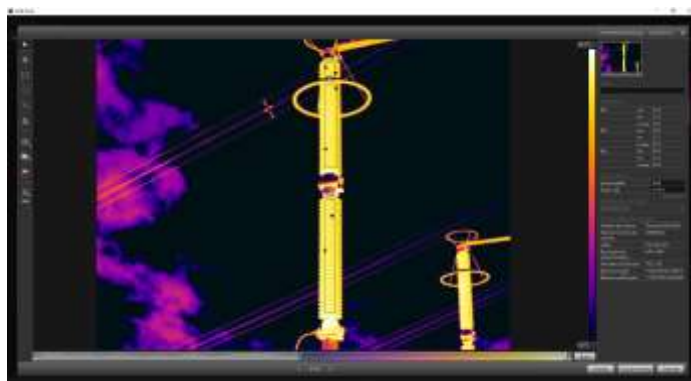


Figura 6 - Software de tratamento de imagens.

A máscara desta planilha apresenta uma interface amigável, como pode ser visto na Figura 7, disponibilizando estruturas prontas para fomentar os bancos de dados do sistema SAP.

	PH 01	PH 02	PH 03
Distância	8,00	8,00	8,00
Unidade Relativa	00,00	00,00	00,00
Elevação	8,80	0,00	0,00
Temperatura Máxima	30,40	24,30	24,30
Temperatura Mínima	25,81	18,21	18,08
Temp. Max da Adjacente	14,80	00,00	00,00
Temperatura Média	28,70	22,20	22,18

Figura 7- Print da ferramenta de aquisição de dados.

Servindo de ferramenta auxiliar, vídeos em forma de tutoriais foram gerados, com propósito de instruir sobre o uso das ferramentas de software, bem como sobre o lançamento de dados no sistema, para complementar as instruções contidas no manual de manutenção. A utilização destes tutoriais possibilita uma inteiração rápida, permitindo maior fluidez na consulta por instruções específicas. A Figura 8 ilustra a ferramenta utilizada para a geração dos tutoriais.

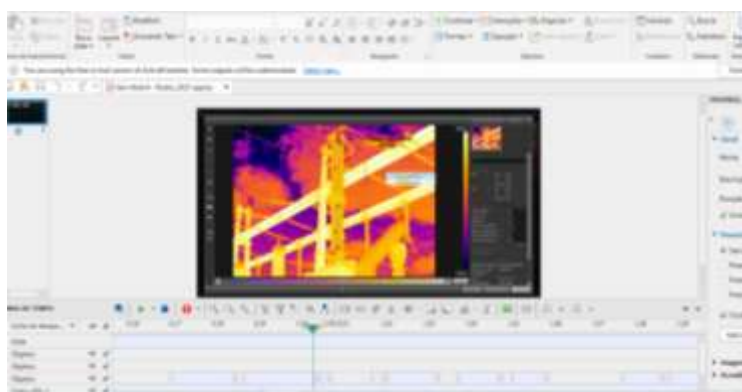


Figura 8- Tela do programa de geração de tutoriais.

Na CGT Eletrosul, a referência de análise de pré-falha de para-raios está relacionada ao aumento da variação de sua temperatura interna, sendo este valor obtido da diferença ("delta") entre temperaturas mínima e

máxima, identificada no próprio corpo do para-raios. Estes valores apresentam elevada distorção, fruto de amostras que possam conter reflexos – resultando em temperaturas mais elevadas – ou bordas de isoladores – que resultam em temperaturas mais baixas. A Figura 9 apresenta a distribuição das amostras de forma dispersa, resultando em um histograma com formato Platô.

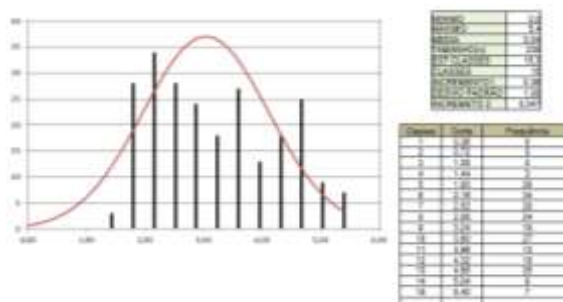


Figura 9 – Histograma Delta ($T_{Max}-T_{Min}$)

Foi incorporado ao processo de análise a variável *temperatura média*, disponibilizada diretamente da média de todas amostragens das áreas selecionadas do equipamento, é possível estabelecer a variação entre as temperaturas máxima e média. O tratamento de dados a partir desta grandeza apresenta baixa distorção, pois os valores de reflexo e de pontos de resfriamento acabam influenciando menos os resultados.

A Figura 10 apresenta a distribuição das amostras de forma menos dispersa do que no caso anterior, resultando em um histograma com formato simétrico.

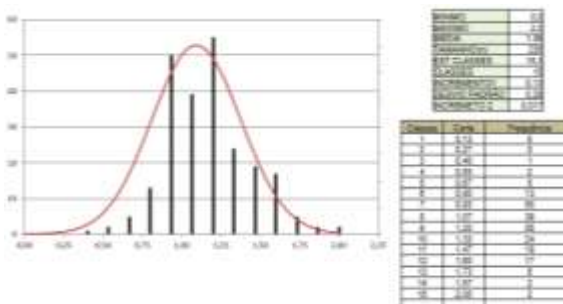


Figura 10 Histograma Delta ($T_{Max}-T_{Med}$)

3.0 RESULTADOS PARCIAIS E CONCLUSÃO

Os desperdícios de tempo foram mensurados na comparação com o *Lead Time*, utilizando valores obtidos entre os anos de 2012 e 2020 (exceto 2016), conforme Figura 11. Estes valores foram obtidos entre o horário do registro da primeira imagem e o horário da última.

O início da implantação deste processo ocorreu em 2017 e, desconsiderando-se o melhor e o pior ano sem aplicação da melhoria (2018 e 2019, respectivamente), chegamos a um valor médio de 111,2 minutos para aquisição de 81 imagens em 27 equipamentos. Em outras palavras, temos um tempo médio de 4,14 minutos para a aquisição das 03 imagens de cada para-raios.

No ano de 2016, os dados referentes às imagens originais foram excluídos acidentalmente, o que impossibilitou a obtenção de valores confiáveis. No ano de 2019, não foi aplicada a metodologia, resultando em reamostragens, o que elevou consideravelmente o tempo de aquisição.

Em 2020, com a metodologia parcialmente implantada, obtivemos um *Lead Time* de 42 minutos, o que resulta em um tempo de execução de 1,6 minutos por equipamento, isto é, uma redução de 62,2%.

Este projeto LSS possibilita uma redução de 2/3 do tempo médio, mas, principalmente, possibilita a aquisição de imagens com maior qualidade. Há um ganho considerável na qualidade dos registros após a uniformização do processo.

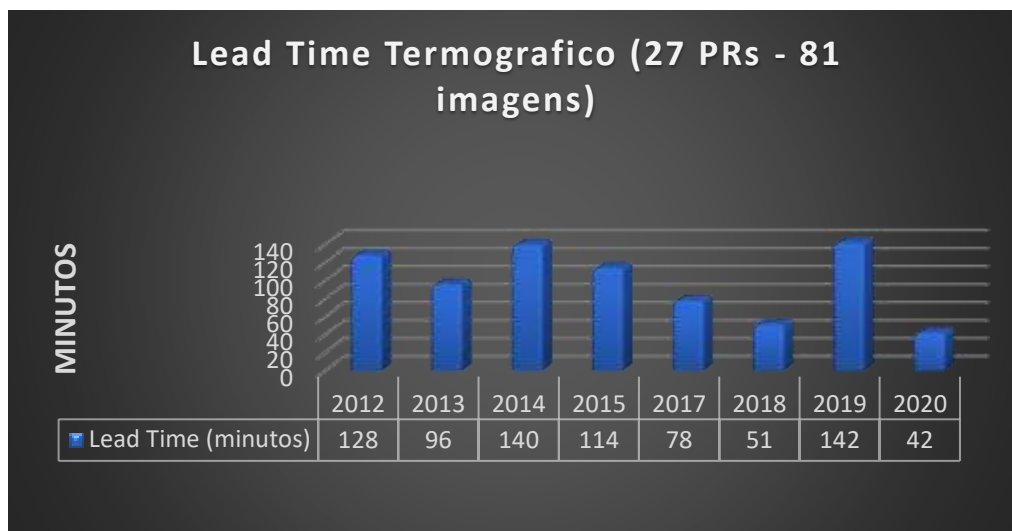


Figura 11– Lead Time de processo 2012 a 2020

Fica evidenciada nos histogramas da Figura 12 a melhora no processo, pela possibilidade de aplicação de diagnóstico quantitativo, devido a sua melhor estabilidade. O histograma da direita ($T_{max}-T_{med}$) apresenta um desvio padrão menor, isto é, possui medidas mais estáveis (com menor variação), reflexo direto da nova metodologia proposta.

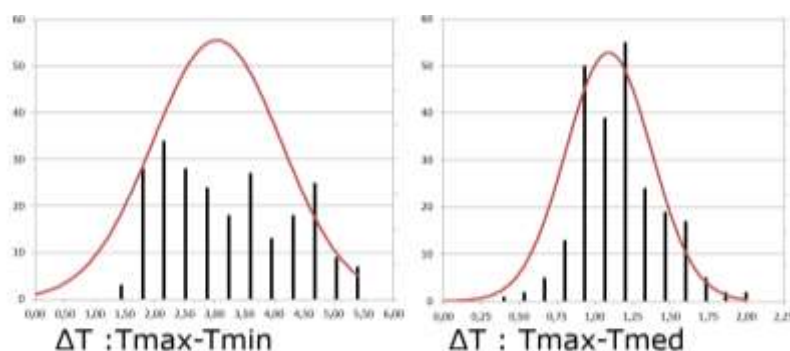


Figura 12 – Comparativo histogramas

Esta estabilidade possibilita, por exemplo, a aplicação de novas ferramentas de inteligência artificial (IA), que futuramente poderão agilizar as demandas das Engenharias de Manutenção, com diagnósticos auxiliares mais rápidos e precisos.

Tendo como foco a sustentabilidade do negócio, indicadores como o KPI (*Key Performance Indicator*), também conhecido como *indicador chave de desempenho*, carecem de previsibilidade, de forma a possibilitar a antecipação de eventos e um planejamento financeiro mais adequado por parte dos gerentes, sendo uma ferramenta estratégica aplicável às diretrizes orçamentárias como OBZ (Orçamento Base Zero).

A Implantação destas metodologias em toda a CGT Eletrosul está em curso, e serão realizados estudos comparativos para a verificação da eficácia outras áreas.

4. Referencias Bibliográficas

- [1] Nascimento J. S. A. , et al, "Aperfeiçoamento de metodologia para medir a temperatura de para-raios de 69KV a 500KV por termovisão nas subestações da Eletronorte", XX SNPTEE, Recife, 2009.
- [2]ALVARES, R. C. Diagnóstico de Falhas em Pára-raios Utilizando Termografia.
- [3] Teixeira G. D., "Confiabilidade metereológica em termografia aplicada em sistemas elétricos", Universidade Federal de Minas Gerais. [S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais,Universidade federal de Minas Gerais 2008.
- [4] Amorim H.P. et al, "Avaliação de para-raios no campo através de detecção de descargas parciais e validação no laboratório", XXII SNPTEE, Brasília, 2013.
- [5] Santos L. et al, "As diferentes visões sobre aplicação de termografia no sistema elétrico de Furnas e as ações adotadas para buscar a convergência entre elas, com a máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do sistema", XXIII SNPTEE, Curitiba, 2005.
- [6] Gomes A.T. et al, "Técnicas preditivas de diagnóstico de para-raios", XXII SNPTEE, Brasília, 2013.
- [7] FLIR SYSTEMS. User ' s manual FLIR B6XX series FLIR P6XX series FLIR SC6XX series. . [S.l: s.n.]. , 2010b
- [8] Womack J P. et al. " A Máquina que mudou o mundo" 10ed. Rio de Janeiro. Editora Campos. 2004.
- [9] George L. M. "Lean Six sigma for service" New York. McGraw-Hill Companies. 2003.
- [10] Womack J P, Jones T. D. "A mentalidade enxuta nas empresas –Lean Thinking" 11ed. Rio de Janeiro. Editora Campos. 2004.
- [11] Ohno T. "O sistema Toyota de produção" Rio de Janeiro. Bokman. 2004

DADOS BIOGRÁFICOS



Sérgio Junior Roncato, engenheiro eletricista graduado pela Universidade Pitágoras Unopar Londrina (2015), pós gradado em Gestão Industrial com ênfase em Manufatura Enxuta pela Faculdade SENAI Londrina 2019. Em seus mais de 24 anos atuando no setor elétrico, desempenhando diversos cargos na área técnica. Atualmente, atuando em projetos de melhoria de processos de manutenção em subestações através do uso de ferramentas do Lean e Six Sigma.

(2)	GUSTAVO	GHEDIN	DITZEL
Engenheiro eletricista com atuação nos mercados de geração e transmissão de energia há mais de 20 anos, tendo participado do desenvolvimento de produtos de automação e controle para usinas hidrelétricas e pequenas centrais elétricas, tais como reguladores de tensão e sistemas de monitoramento para máquinas síncronas. Atualmente, atua na área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Manobra na CGT Eletrosul, e está concluindo a graduação no Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação.			