

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO  
MBA EM GESTÃO DE NEGÓCIOS COM ÊNFASE EM  
GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

**FELIPE GHIRARDELLI**

**COMPARATIVO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO DE GERADORES  
ELÉTRICOS DE GRANDE PORTE COM BASE NOS CUSTOS  
ENVOLVIDOS: 03 ESTUDOS DE CASO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**LONDRINA/PR  
2019**

**FELIPE GHIRARDELLI**

**COMPARATIVO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO DE GERADORES  
ELÉTRICOS DE GRANDE PORTE COM BASE NOS CUSTOS  
ENVOLVIDOS: 03 ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão de Negócios com Ênfase em Gerenciamento de Projetos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina.

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Ferreira

**LONDRINA/PR**

**2019**



## TERMO DE APROVAÇÃO

### COMPARATIVO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO DE GERADORES ELÉTRICOS DE GRANDE PORTE COM BASE NOS CUSTOS ENVOLVIDOS: 03 ESTUDOS DE CASO

por

FELIPE GHIRARDELLI

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização foi apresentado em 05 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Negócios com Ênfase em Gerenciamento de Projetos. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. José Ângelo Ferreira  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Me. José Luis Dalto  
Membro titular

---

Dr. Marco Antonio Ferreira  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me permitiu seguir em frente a cada desafio nesta etapa da minha vida. Por ter me dado saúde, emprego e uma família maravilhosa.

Aos meus pais que me ensinaram a ter educação e força de vontade para realizar meus sonhos, me amando e incentivando incondicionalmente.

à minha noiva, pela paciência e todo o apoio durante minha ausência, na trajetória e dedicação para conclusão desta especialização.

Ao Prof. Dr. José Ângelo Ferreira que dedicou seu tempo e conhecimento na orientação para elaboração deste trabalho.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

## RESUMO

GHIRARDELLI, Felipe. **Comparativo dos tipos de manutenção de geradores elétricos de grande porte com base nos custos envolvidos: 03 estudos de caso**. 2019. 18 páginas. Monografia (MBA em Gestão de Negócios com ênfase em Gerenciamento de Projetos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina - Paraná, 2019.

Entre os principais meios de se obter lucro nas fábricas, a manutenção é um item fundamental para se trabalhar a redução dos custos do processo produtivo. Partindo deste conceito, este presente artigo apresentará brevemente os conceitos dos tipos de manutenção em geradores elétricos e suas respectivas atividades e apresentará um comparativo através de três estudos de caso de diferentes situações de gastos em dinheiro e tempo com manutenção de geradores elétricos de grande porte, de unidades geradoras de fábricas.

**Palavras-chave:** Manutenção. Preditiva. Preventiva. Corretiva. Gerador. Custo. Industrial.

## ABSTRACT

GHIRARDELLI, Felipe. **Comparing the types of maintenance of larges electrics generators and considering each cost of them – 03 cases**. 2019. 18 pages. Monograph (MBA in Business Management with emphasis in Project Management) - Federal Technology University. Londrina - Paraná, 2019.

Among the main means of making profit in industry, maintenance is a fundamental item to work to reduce the costs of the process. Starting from this concept, this article will briefly present the concepts of the types of maintenance in electric generators and their respective activities and will present a comparison through three case studies of different situations of money and time spent on maintenance of large electric generators, industry generating units.

**Keywords:** Maintenance. Predictive. Preventive. Corrective. Generator. Cost. Industry.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>06</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>09</b>
<b>3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>16</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>ANEXO A - CERTIFICADO DE ACEITE DO ARTIGO .....</b>	<b>18</b>



---

## COMPARATIVO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO DE GERADORES ELÉTRICOS DE GRANDE PORTE COM BASE NOS CUSTOS ENVOLVIDOS 03 ESTUDOS DE CASO

FELIPE GHIRARDELLI – UTFPR – felipeghirardelli@gmail.com

**Palavras-chave:** Manutenção. Preditiva. Preventiva. Corretiva. Gerador. Custo. Industrial.

### Resumo:

Entre os principais meios de se obter lucro nas fábricas, a manutenção é um item fundamental para se trabalhar a redução dos custos do processo produtivo. Partindo deste conceito, este presente artigo apresentará brevemente os conceitos dos tipos de manutenção em geradores elétricos e suas respectivas atividades e apresentará um comparativo através de três estudos de caso de diferentes situações de gastos em dinheiro e tempo com manutenção de geradores elétricos de grande porte, de unidades geradoras de fábricas.

### 1. Introdução

Com o desenvolvimento industrial econômico atual, a busca por maiores lucros é essencial para a sobrevivência das fábricas. A melhor estratégia encontrada até o momento para atingir bons resultados, é a redução de custos de fabricação através de uma boa gestão de produção. Com a atual concorrência do mercado o preço dos produtos são determinados pelo cliente, desde o momento que o lucro deixou de ser diretamente ligado à receita e passou a depender dos custos envolvidos, desta forma, o controle e a gestão destes custos devem ser trabalhados de forma inversamente proporcional ao lucro, ou seja, quanto menores os custos, maior será o lucro (FERREIRA, 2007).

O rendimento das fábricas está diretamente ligado ao tempo de funcionamento de seu processo produtivo, ou seja, quanto mais tempo de fábrica em operação, maior será a produção. Os geradores elétricos são responsáveis pelo funcionamento de determinados setores, evitando a compra de energia elétrica de concessionárias (reduzindo os custos). Desta forma a confiabilidade de seu funcionamento é essencial para que a fábrica alcance uma grande vantagem na competitividade, sobre os seus concorrentes do mesmo nicho de mercado (SLACK, 2002).

É evidente que o pleno funcionamento dos geradores e sua confiabilidade são essenciais para o desenvolvimento da fábrica. E a manutenção é fundamental para manter a funcionalidade destes geradores e realizar programações produtivas, mantendo ou recuperando a máquina dentro de suas características específicas de





operação ou desenvolver medidas para que se possa garantir determinados serviços por determinados períodos (NETO, 2002). Para manter a confiabilidade dos equipamentos das fábricas, são programadas paradas gerais periodicamente de acordo com determinações da diretoria e também são realizadas paradas de setores conforme a demanda da fábrica, onde são realizadas manutenções de equipamentos específicos.

O fato do gerador estar fora de operação geram custos significativos para as fábricas, devido o tempo de parada não programada. Custos estes que possuem muitas variáveis de fábrica para fábrica, devido a estação do ano, quantidade de estoque de insumos, demanda solicitada da fábrica, valor dos combustíveis e energia elétrica e demais programações dos processos da empresa. Quando ocorre a parada programada, são realizados planejados para os processos da fábrica (parada ou redução de produtividade) para minimizar estes custos.

As manutenções de geradores, assim como para demais equipamentos industriais, podem ser classificadas como preditiva, preventiva e corretiva, sendo a manutenção preditiva a ferramenta para garantir que o gerador esteja em condições de se manter em plena operação. Ela também é importante para realizar inspeções e prever possíveis necessidades de reparos, detectando não conformidades antes de se tornarem um sério problema para o funcionamento do gerador, inspeções estas através de testes e análises e acompanhamento da evolução dos resultados encontrados e suas características de funcionamento (NETO, 2002).

Através da preditiva é possível realizar o planejamento de substituição de peças ou execução de serviços de acordo com os resultados e diagnósticos obtidos, desta forma é realizada uma parada do gerador programada para fazer o que for necessário de maneira mais breve possível, já deixando recursos materiais e humanos preparados para a situação (SLACK, 2002). Com este tipo de parada do gerador, são realizadas programações em demais equipamentos para também passarem pelo processo de manutenção, aproveitando o tempo que o processo produtivo da fábrica aproveita para diminuir o seu ritmo (quando não estão no período de parada geral da fábrica), evitando gastos que poderiam surgir com possíveis falhas das máquinas e futuras interrupções da produção.

Com os resultados obtidos pode ser realizado um planejamento de parada programada para realização de uma manutenção preventiva (Overhaul, envolvendo desmontagem parcial ou completa do equipamento para inspeções mais específicas conforme o acesso e realização de serviços preventivos como limpeza criteriosa e reparos leves) ou corretiva.

Como referência para interpretação dos resultados podem ser utilizadas as normas da ABNT NBR 5052: Máquinas Síncronas – Ensaios. Rio de Janeiro; NBR 5383-1: Máquinas elétricas girantes Parte 1: Motores de indução trifásicos – Ensaios. Rio de Janeiro, 2002 e também da IEEE, mais especificamente a IEEE STD 43-2013: IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. New York, 2013.



A manutenção preventiva são as atividades executadas para reduzir ou evitar paradas não programadas futuras, através de serviços ou substituição de peças antes da falha da peça ou do conjunto de geração (SANTOS, 2013).

Para cada gerador tem-se determinado pelo fabricante, um cronograma de manutenção preventiva como: substituição de escovas, substituição de óleo, inspeções, manutenção preditiva, entre outras atividades que são instruídas nos manuais fornecidos por cada fabricante, assim como ocorrem para os carros e motos atuais. Ou seja, são atividades realizadas frequentemente de acordo com determinados critérios para redução de possíveis danos ao equipamento (NETO, 2002). A manutenção preventiva é realizada também, quando necessário através dos diagnósticos do histórico das manutenções preditivas.

Na preventiva de geradores devem ser realizadas atividades periodicamente e/ou conforme determinada situação encontrada nas manutenções preditivas anteriores.

A manutenção preventiva engloba inúmeros serviços e processos técnicos no equipamento e quando é realizada a programação corretamente, é possível realizar uma revisão completa do gerador, denominada como Overhaul, sendo caracterizado pela desmontagem parcial do equipamento e realização de serviços de correção de efeito corona, limpeza criteriosa do estator com produtos químicos dielétricos específicos, limpeza do sistema de excitação, limpeza dos trocadores de calor, refazer amarrações dos enrolamentos, refazer soldas, substituir barramentos, substituir bobinas, substituição de escovas, substituir sensores e verificação de vazamentos de óleo e se necessários solicitar uma manutenção corretiva.

A manutenção preditiva, pode ser realizada durante a preventiva, de acordo com a disponibilidade e acesso do equipamento durante os processos de desmontagem parcial.

Por fim, a manutenção corretiva é o processo realizado quando o gerador já está danificado e é necessária a correção da falha que provocou a parada não programada do equipamento e nem sempre ocorre em períodos oportunos, podendo causar atrasos em cadeia da produção até a solução do problema. (SANTOS, 2013).

Este tipo de manutenção ocorre crescentemente conforme não são realizadas as manutenções preditivas e preventivas, que são medidas antecipadas para o pleno funcionamento do gerador (NETO, 2002).

Para os geradores, a manutenção corretiva pode ser determinada pelas manutenções anteriores ou após uma falha da máquina. São atividades como a rebobinagem do estator, rebobinagem da excitatriz, rebobinagem do rotor, usinagens de eixo, remanejamento do núcleo magnético, substituição de mancais, entre tantas outras atividades que possam vir a ser necessárias, cada uma com seu tempo e custo específicos para solução das não conformidades.



---

## 2. Desenvolvimento

Para o estudo sobre dos tipos de manutenção dos geradores elétricos de grande porte, foram comparados três casos reais, sendo cada caso com suas respectivas características relacionadas ao tipo de manutenção aplicada ou deixada de ser aplicada.

Os três casos são de geradores elétricos de grandes fábricas no mercado nacional e internacional. Estes equipamentos são essenciais para o processo produtivo da indústria, embora possuam inúmeras unidades geradoras em suas locações, é evidente que a falta de operação de um gerador está diretamente ligada aos resultados financeiros, podendo haver a necessidade de parar a produção de setores dependentes da energia elétrica fornecida pelo gerador ou pode ser necessário diminuir o ritmo de produção e contratar uma quantidade alta de energia da concessionária, atingindo demandas contratadas que não seriam necessárias com o gerador em operação.

Como comparativo de custos, foram levantados os valores gastos com mãos de obra de colaboradores internos, serviços necessários para a realização da manutenção, aquisição de materiais, transporte do equipamento e o tempo de equipamento fora de programação.

Para o tempo de equipamento fora de operação, não serão levantados valores financeiros e sim apresentado o tempo em horas, devido à incerteza no levantamento destas informações pela grande diversidade de fatores influentes para este custo (estação do ano, quantidade de estoque de insumos, demanda solicitada da fábrica, valor dos combustíveis e energia elétrica e demais programações dos produtivas da empresa).

Ao final são comparados os custos envolvidos em cada caso, considerando que os geradores não são idênticos e não estão localizados na mesma unidade, ou seja, mesmo que fosse aplicado a mesma manutenção para os três geradores, seriam gastos diferentes.

No primeiro estudo de caso foi abordado a situação de uma manutenção preditiva de um gerador elétrico de 150 MVA / 13,8 KV, que passou por uma programação de manutenção estratégica, houve uma data planejada para parada do equipamento e realização da manutenção preditiva. Para a preditiva do gerador são realizados uma bateria com inúmeros testes, sendo eles a avaliação da atual situação e uma estimativa de tempo de vida útil da máquina através da análise dos resultados e o acompanhamento de sua evolução. Para os testes elétricos são realizadas baterias de testes fundamentais para os diagnósticos da situação atual e estimativa das características de funcionamento da máquina, este conjunto de testes são denominados com Living Extend.

Para o Living Extend é contratada uma empresa especializada, contemplando no escopo de serviços as inspeções visuais dos enrolamentos e medições de capacitância, corona visual, corrente de fuga, descargas parciais, impedância (surge test), indução do núcleo magnético, resistência de isolamento, resistência ôhmica,



---

tangente delta e sensores. São contratados também testes mecânicos, que são realizadas inspeções visuais do gerador e medições de alinhamento, balanceamento, gaps, temperatura e vibração.

Através da coleta e interpretação dos resultados dos testes, foi possível estimar o tempo de vida útil do equipamento, obtendo resultados positivos e liberando o gerador para operação dentro do planejado e com sua confiabilidade de funcionamento.

Após a preditiva foi emitido um relatório com os resultados obtidos e recomendado o planejamento de uma nova bateria de testes dentro de um ano.

Neste primeiro caso foram levantados os custos necessários com a manutenção preditiva, abrangendo os gastos necessários para a contratação de uma empresa especializada para a realização dos testes. Foram levantados também os custos de mão de obra da equipe interna e o tempo de gerador fora de operação dentro do e fora do planejado.

No segundo caso foi analisado um gerador elétrico de 50 MVA / 13,8 KV, que também passou por uma programação de manutenção preditiva e houve uma parada programada para a realização dos testes elétricos (Living Extend) e testes mecânicos com o equipamento fora de operação, idêntico ao primeiro estudo de caso. Porém, na coleta e interpretação dos dados foram detectados pontos de corona nas cabeceiras das bobinas do estator do gerador e foram necessários reparos para permitir a plena operação da máquina. Foi contratada uma empresa especializada em manutenção de geradores e enviado o equipamento para sua oficina para realização dos procedimentos de reparo.

Os procedimentos de reparo consistiram em realizar o processo de limpeza criteriosa do enrolamento do estator através do processo de jateamento de gelo seco (CO<sup>2</sup>). Com o enrolamento limpo foram realizados testes e inspeções para identificação e reparo dos pontos não conformes, através da aplicação de silicone e resina epóxi isolante de classe térmica F.

Em paralelo aos reparos dos pontos críticos de corona, foram realizados também serviços preventivos no rotor e excitatriz.

Após todos os serviços contratados foram repetidos os testes, validando a qualidade dos reparos e emitindo o laudo técnico para liberação do gerador para operação, com confiabilidade. No laudo técnico foi recomendado um planejamento da próxima manutenção preditiva, dentro do período de um ano.

Neste segundo caso também serão levantados os custos necessários com a contratação de uma empresa especializada em testes de geradores elétricos e mão de obra dos colaboradores internos para auxílio nos serviços, e também o tempo de equipamento fora de operação. Porém, neste caso houve o adicional da manutenção preventiva, levantando os gastos com a contratação da empresa especializada para resolver as não conformidades, antes de entrar em operação. Neste caso também há o incremento de gastos com o aumento da quantidade de mão de obra da equipe interna e aumento do tempo de equipamento fora de operação fora do planejamento.

No terceiro caso foi analisado um gerador elétrico de 21 MVA / 13,8 KV, que por falta de planejamento, não foi realizada a manutenção preditiva e não há um histórico de



funcionamento da máquina. Neste caso ocorreu uma falha elétrica no estator do gerador, causando uma parada não programada, ou seja, o equipamento deixou de operar sem que a fábrica estivesse esperando por isto. Esta parada não programada poderia ter sido evitada se fosse realizada a manutenção preditiva e preventiva. Para este gerador foi aplicada a manutenção corretiva.

A falha elétrica deste gerador foi causada devido a não conformidades nas amarrações das cabeceiras das bobinas, onde se soltaram calços e houve a vibração das bobinas. Ocorreu o carcaceamento (estator x rotor) danificando por completo o enrolamento do estator e parcialmente o núcleo magnético do estator, sendo necessário o processo de rebobinagem completa do estator e remanejamento da chaparia do seu núcleo magnético. O carcaceamento foi causado por um corpo estranho (calço solto) ou pela vibração das bobinas fragilizando o sistema isolante, causando um curto-circuito entre bobina e carcaça.

Para este caso de manutenção corretiva foram levantados os gastos necessários com a contratação de uma empresa especializada em grandes reparos deste tipo de gerador e o tempo com o equipamento fora de operação, desta vez, não houve programação, ou seja, os setores dependentes deste gerador foram parados também, congelando os processos fabris, gerando inúmeros transtornos com o reparo prolongado do gerador.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados serão apresentados individualmente e posteriormente será realizado um comparativo entre os três casos, porém, levando em consideração que não são geradores idênticos e os custos de máquina fora de operação planejada e não planejada são incertos, não serão apresentados estes valores monetários e sim a quantidade de horas fora de operação.

Os resultados dos estudos do primeiro caso são apresentados na tabela 01.

O principal gasto deste caso de manutenção preditiva, foi a contratação da empresa especializada responsável pelos serviços de Living Extend. Estes testes custaram R\$80.000,00, envolvendo: os gastos da empresa especializada com dois colaboradores, traslado e hospedagem dos colaboradores e os equipamentos específicos para cada teste realizado.

Com os resultados positivos dos testes, onde não foram detectadas não conformidades no equipamento, o gerador esteve disponível para operação normal logo após os procedimentos dos testes da manutenção preditiva, dispensando a necessidade de prolongar o tempo de máquina fora de operação e o tempo de disponibilidade de colaboradores internos para auxílio nos serviços, assim como não foram necessárias substituição de peças ou aquisição de materiais.

Além dos gastos com a contratação da empresa especializada, houve o custo de disponibilizar pelo menos três colaboradores durante os três dias de manutenção, sendo um supervisor e dois eletromecânicos, para auxílio dos especialistas dentro das





locações da fábrica. O tempo de máquina parada planejado deste caso, foram três dias.

Como o tempo de máquina fora de operação esteve dentro do programado, não foram considerados como prejuízos significativos, pois a fábrica estava preparada para este período e planejou a linha de produção para trabalhar de forma reduzida e também planejou a manutenção de demais equipamentos em paralelo com a preditiva do gerador. Desta forma, é imensurável os valores exatos gastos especificamente com o gerador nestes dias de parada programada.

**Tabela 01** – Resultados dos custos do primeiro estudo – Manutenção preditiva

Descrição	Gastos	Observações
Contratação de empresa especializada	R\$80.000,00	Empresa especializada em geradores elétricos
Aquisição de materiais	R\$0,00	Não foi necessário
Mão de obra de colaboradores internos	R\$1.680,00	03 dias: 01 Supervisor; 02 eletromecânicos
Transporte de equipamento	R\$0,00	Não foi necessário
Tempo de máquina fora de operação programado	72 horas	03 dias
Tempo de máquina fora de operação não programado	0 horas	Não foi necessário
Energia elétrica contratada da concessionária	0 KVA	Não foi necessário
<b>R\$81.680,00 + 72 horas fora de operação programada</b>		

Fonte: Própria (2019).

Neste primeiro caso, foram gastos apenas R\$81.680,00 e três dias dentro do programado.

Os resultados dos estudos do segundo caso constam na tabela 02.

No segundo caso também foi contratada uma empresa especializada no valor de R\$80.000,00 para a realização dos testes de manutenção preditiva, utilizando três colaboradores internos para auxílio dos especialistas dentro da fábrica. Porém, neste



caso foram detectadas não conformidades durante os testes de corona visual do estator.

Para correção das não conformidades foram realizados dentro do período da parada programada. Estes reparos foram realizados pela mesma empresa especializada que realizou o Living Extend, cobrando o valor de R\$269.203,00 para os serviços serem realizados na oficina da especializada, ou seja, a fábrica precisou pagar o transporte com seguro de ida e volta com seguro do gerador com valor total de R\$33.000,00.

Estas não conformidades são críticas e foi de suma importância terem sido detectadas durante a preditiva. O gerador foi liberado para operação e programado uma nova parada programada em no máximo doze meses.

**Tabela 02** – Resultados dos custos do segundo estudo – Manutenção preventiva

Descrição	Gastos	Observações
Contratação de empresa especializada	R\$249.203,00	Empresa especializada em geradores elétricos
Aquisição de materiais	R\$0,00	Não foi necessário
Mão de obra de colaboradores internos	R\$22.288,00	03 dias: 01 Supervisor; 02 eletromecânicos
Transporte de equipamento	R\$33.000,00	Não foi necessário
Tempo de máquina fora de operação programado	480 horas	20 dias
Tempo de máquina fora de operação <b>não</b> programado	120 horas	5 dias
Energia elétrica contratada da concessionária	42 KVA (120 horas)	42 KVA (5 dias)
<b>R\$304.991,00</b> <b>480 horas fora de operação programada</b> <b>120 horas fora de operação não programada</b>		

Fonte: Própria (2019).

Com os serviços de reparo em manutenção preventiva, o tempo de gerador fora de operação aumentou de três dias para vinte e cinco dias, mas ainda com o aumento de tempo, havia uma espaço de vinte dias de disposição do gerador para realizar esta



manutenção, então a máquina esteve em manutenção apenas cinco dias fora da programação da produção, envolvendo redução do processo produtivo e manutenção de demais equipamentos.

Para os cinco dias de produção sem o gerador, foi necessário contratar energia elétrica da concessionária para suprir a falta deste gerador. Foram contratados 42 MVA durante os cinco dias (O gerador não opera constantemente com a potência nominal, ou seja, trabalha em torno de 42 MVA).

Neste caso foram gastos R\$81.680,00 dentro do planejado, porém houve a necessidade de reparos preventivos aumentando os gastos para R\$304.991,00, vinte dias de máquina fora de operação programada, compra de 42 KVA por 120 horas e mais cinco dias de máquina fora de operação. Foram gastos necessários para manter o gerador em condições operacionais, evitando que houvesse uma parada inesperada necessitando de uma manutenção corretiva.

Os resultados dos estudos do terceiro caso serão apresentados na tabela 03.

No terceiro caso deste estudo, houve a falta de planejamento de manutenção e não foi realizada a manutenção preditiva deste gerador, ou seja, não foi realizada uma parada programada para verificação do estado físico do equipamento, devido à falta de planejamento ou falta de entendimento da necessidade destes serviços, ocorreu falha do gerador causando uma parada não programada do equipamento e do setor da fábrica.

Após o acontecido, foi contratada uma empresa especializada em manutenção de geradores elétricos para verificação do estado físico do equipamento, em que foi constatado danos irreversíveis no estator do gerador.

Para recuperação do gerador foi necessário desmontar o equipamento e enviar para a oficina da empresa especializada, com o custo de R\$30.000,00 (ida e volta com seguro). Para desmontar e carregar o gerador, foram necessários cinco colaboradores e um supervisor durante cinco dias. A empresa especializada cobrou o valor de R\$847.568,00 para realizar os serviços de recuperação do estator.

Durante a desmontagem foram realizadas inspeções os melhores acessos e detectado não conformidades nas cunhas do rotor e para este reparo do rotor, foi aproveitado que o equipamento estava fora de operação para estes reparos. Para os procedimentos de reparo do rotor a empresa especializada, cobrou o valor de R\$146.000,00.

Ficou acordado que a empresa especializada ficaria responsável apenas pela mão de obra e materiais de processo, sendo assim a fábrica teve que adquirir R\$394.400,00 de materiais necessários para a recuperação do estator.

Durante todo o processo de recuperação do gerador a fábrica disponibilizou um supervisor para acompanhamento de todo o processo desta manutenção pelo período de sessenta dias.

Após finalização da recuperação do gerador, foram necessários cinco colaboradores e um supervisor para montagem do equipamento durante cinco dias.

Para manter a produção normal da fábrica com o gerador fora de operação, foi necessário contratar da concessionária, a potência equivalente ao uso do gerador de 18 MVA para pelo menos 60 dias.





**Tabela 03**– Resultados dos custos do terceiro estudo – Manutenção corretiva devida falta de manutenção preditiva

Descrição	Gastos	Observações
Contratação de empresa especializada	R\$993.568,00	Empresa especializada em geradores elétricos
Aquisição de materiais	R\$394.440,00	Compra de materiais
Mão de obra de colaboradores internos	R\$77.280,00	70 dias: 01 Supervisor; 10 dias: 05 Eletromecânicos
Transporte de equipamento	R\$30.000,00	Não foi necessário
Tempo de máquina fora de operação programado	0 horas	100% da manutenção sem qualquer planejamento
Tempo de máquina fora de operação <b>não</b> programado	1680 horas	70 dias de produtividade
Energia elétrica contratada da concessionária	18 KVA (1440 horas)	18 KVA (60 dias)
<b>R\$1.498.288,00</b> <b>0 horas fora de operação programada</b> <b>1680 horas fora de operação não programada</b>		

Fonte: Própria (2019).

Neste caso foi necessário este custo alto para recuperação do gerador e devolve-lo à operação devido a falta de uma manutenção preditiva/preventiva, para detecção das não conformidades antes de se tornarem problemas críticos. Foram gastos com os reparos o valor de R\$1.498.288,00, além dos setenta dias de máquina fora de operação necessitando contratar 18 MVA por pelo menos sessenta dias.



**Tabela 04 – Comparativo dos custos dos 03 casos estudados**

Descrição	Caso 01	Caso 02	Caso 03
Contratação de empresa especializada	R\$80.000,00	R\$249.203,00	R\$993.568,00
Aquisição de materiais	R\$0,00	R\$0,00	R\$394.440,00
Mão de obra de colaboradores internos	R\$1.680,00	R\$22.288,00	R\$77.280,00
Transporte de equipamento	R\$0,00	R\$33.000,00	R\$30.000,00
Tempo de máquina fora de operação programado	72 horas	480 horas	0 horas
Tempo de máquina fora de operação <b>não</b> programado	0 horas	120 horas	1680 horas
Energia elétrica contratada da concessionária	0 KVA	42 KVA 120 horas	18 KVA 1440 horas

Fonte: Própria (2019).

Comparando os custos dos três estudos de casos, o caso de maior valor gasto é o gerador que passou pelo processo de manutenção corretiva no terceiro caso. O comparativo demonstra que os valores são significativamente diferentes.

#### 4. Conclusões

Com os resultados obtidos nos estudos de caso é conclusivo que, a manutenção preditiva programada é de longe a de maior eficiência. Com este tipo de manutenção são minimizadas as chances de possíveis transtorno e prejuízos financeiros, em questão da confiança e funcionalidade do gerador elétrico.

Através dos estudos realizados foi observado que a confiança e funcionalidade do equipamento são essenciais para o desenvolvimento das fábricas, sabendo que os custos da indisponibilidade dos geradores elétricos são significativamente elevados em comparação aos custos necessários para manter as revisões elétricas e mecânicas do equipamento em dia.

É recomendado que sejam realizadas as manutenções preditivas/preventivas nos geradores anualmente, realizado inspeções e medições periodicamente e registros das situações encontradas e análises dos resultados, estipulando tempo de vida útil ou

# ENENPRO



Anais do II Encontro de Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Londrina  
04 a 06 de junho de 2019

ISSN xxxxx

---

prazos para futuras manutenções. Gerando também, um histórico de todos os serviços já realizados no equipamento, facilitando o planejamento de paradas programadas dos geradores.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5052**: Máquinas Síncronas – Ensaios. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5383-1**: Máquinas elétricas girantes Parte 1: Motores de indução trifásicos – Ensaios. Rio de Janeiro, 2002.

FERREIRA, José Ângelo: **Custos Industriais – Uma ênfase gerencial**. São Paulo, STS, 2007.

IEEE STANDARDS ASSOCIATION. **IEEE STD 43-2013**: IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. New York, 2013.

SANTOS, FLÁVIO. **Manutenção preditiva e pró ativa. Filosofias alternativas ou complementares**. Estudo de caso. TCC (Mestrado em Engenharia Mecânica Ramo Manutenção e Produção). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.

NETO. J.C.S; LIMA, A.M.G. **Implantação do Controle de Manutenção**. Revista Club de Manutenimento, 2002. Disponível em:  
<<http://www.mantenimentomundial.com/notas/11controle.pdf>>. Acesso em 03/04/2019.



II Encontro de Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Londrina  
04 a 06 de junho de 2019

---

## CARTA DE ACEITE

É com satisfação que informamos que o artigo:

COMPARATIVO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO DE GERADORES  
ELÉTRICOS DE GRANDE PORTE COM BASE NOS CUSTOS  
ENVOLVIDOS  
03 ESTUDOS DE CASO

Do autor:

FELIPE GHIRARDELLI

foi **aceito** para ser apresentado no II Encontro de Engenharia de Produção (ENENPRO) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina.

Para efetivar sua INSCRIÇÃO e garantir sua PUBLICAÇÃO NO ANAIS DO EVENTO, faça a inscrição no site do evento (<https://sites.google.com/view/enenpro-utfpr/inscrição>) e envie o comprovante de pagamento (valor R\$ 100,00), até **05/05/2019**, para o e-mail: [enenproutfpr@gmail.com](mailto:enenproutfpr@gmail.com)

Informe no corpo do e-mail o título do trabalho e autores. Em anexo, o comprovante de pagamento em pdf.

No caso do artigo, apenas um autor precisa realizar a inscrição.

Atenciosamente,

Comissão Científica II ENENPRO