



ESTUDO DAS ANORMALIDADES DE MOTORES ELÉTRICOS CORRENTE CONTÍNUA EM UM MINERADOR CONTÍNUO

Leandro Gonçalves Costa¹

Wagner Fernandes Zeferino²

Resumo: A extração de carvão mineral é uma atividade que sofreu evolução com o decorrer dos anos, exigindo alto desempenho e um ótimo rendimento dos equipamentos utilizados. Para que isso seja possível é preciso executar manutenções eficientes em todos os equipamentos das máquinas utilizadas no processo, como nos motores por exemplo. O principal objetivo deste trabalho é apresentar as anormalidades recorrentes nos motores de tração, que afetaram a eficiência de produção de um minerador contínuo em uma carbonífera da região sul no ano de 2019. Demonstrando uma solução eficaz encontrada, que permitiu aos motores trabalharem de forma menos ininterrupta. A avaliação da interferência na produção se deu através de levantamento de dados elaborados que demonstraram um histórico com números significantes de falhas dos motores, que traduzia uma manutenção ineficaz executada, sinalizando a necessidade de uma análise com maiores conhecimentos técnicos na correção das anormalidades. O artigo presente exhibe os resultados de ensaios de resistência de isolamento, pontos quentes e outros ensaios técnicos executados nos motores e faz uma análise desses resultados apontando uma solução para possíveis problemas. Com as soluções apontadas os resultados foram impressionantes.

Palavras-Chave: Motores elétricos. Ensaios. Mineradores. Carvão. Produção

1 INTRODUÇÃO

A extração de carvão é uma atividade que está fortemente relacionada com o desenvolvimento regional do sul catarinense e foi, por muitos anos, o grande propulsor de desenvolvimento econômico do município de Criciúma. A volumosa quantidade de carvão mineral encontrada na região gerou empregos, desenvolvimento e atraiu fortes investimentos financeiros e governamentais para a cidade, tendo seu auge entre as décadas de 1940 e 1970, período em que Criciúma ficou conhecida como a Capital Brasileira do Carvão (IBGE, 2020).

¹ Graduando UNISATC. E-mail: leandro.cea@hotmail.com

² Professor UNISATC. E-mail: wagner.zeferino@satc.edu.br



A inserção do carvão na matriz energética do país manteve o interesse na atividade até os dias de hoje. Atualmente, o carvão mineral representa cerca de 4,9% da matriz energética do Brasil (EPE, 2021).

Primeiramente, a exploração do minério era executada de forma pouco evoluída, um processo rudimentar, com uso de picaretas para extração do carvão e carrinhos tracionados por animais ou manualmente, para o transporte até a superfície, com sérios problemas de segurança e graves impactos ambientais (GONÇALVES; FOLLMAAN; PHILOMENA, 2012).

Dessa forma os investimentos ao longo do tempo resultaram em um intenso desenvolvimento na forma da exploração deste recurso, o que promoveu progressos na execução da atividade. Expandindo-se de uma forma artesanal para automatizada, prezando por segurança e conservação do meio ambiente.

Surgindo novos métodos de mineração com o decorrer dos anos, como o uso de explosivos para extrair o carvão, minicarregadeiras e correias transportadoras. Equipamentos com alta eficiência e maior capacidade de extração de carvão ainda são desenvolvidos.

Atualmente, as mineradoras utilizam os mineradores contínuos, ferramenta capaz de extrair o carvão mineral do subsolo, com maior rendimento comparado ao método com explosivos, eliminando as vibrações e barulhos provocados pelos explosivos, o que reduz significativamente os riscos da atividade.

Entretanto, este procedimento em um subsolo vem cercado de dificuldades, em função das próprias características deste ambiente: úmido, agressivo, rochoso e de alta periculosidade. Exigindo desses equipamentos elevada resistência ao desgaste, de todos os materiais utilizados.

Segundo WEG (2020), máquinas elétricas possuem uma vida útil determinada, que está diretamente relacionada ao meio onde estão sendo utilizadas. Porém, esse conceito sofre alteração de acordo com o método de manutenção empregado, forma de serventia e o ambiente onde estão sendo aplicados, reduzindo drasticamente em locais muito abrasivos como o subsolo de uma mina de carvão.

Deste modo, motores elétricos dos mineradores contínuos são os responsáveis por dar vida ao equipamento. Estes necessitam de um bom plano de manutenção, não apenas com o objetivo de manter o patrimônio, e continuidade



operacional, mas também como um meio para alcance de metas e resultados operacionais.

Os principais equipamentos de uma indústria, aqueles que impactam diretamente na produção devem ser constantemente monitorados. Realizando uma manutenção preventiva, que visa eliminar as possibilidades de falhas, por meio de atividades de manutenção, com o objetivo de aumentar a vida útil dos equipamentos, redução de custo com manutenção e diminuição das interrupções na atividade produtiva da indústria (SELEME, 2015).

Indicadores de horas trabalhadas, paradas e total de produção, devem ser controlados em uma planilha, assim como os motivos da interrupção na produção do equipamento em um determinado período, de modo a facilitar o trabalho da equipe de engenharia na identificação dos problemas das máquinas.

Assim, com análise nos indicadores de horas paradas dos mineradores de uma Carbonífera da região de Criciúma, pode-se observar uma grande percentualidade de horas inativas relacionadas aos motores de tração, motores esses responsáveis pela locomoção do equipamento. Colocando em risco o processo produtivo da indústria carbonífera.

Por conta disso, este trabalho vem descrever as anormalidades recorrentes nos motores de tração, apresentando as causas dos defeitos, demonstrando uma solução eficaz encontrada e um plano de manutenção, o que permitiu os motores trabalharem de forma menos ininterrupta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os motores elétricos, equipamentos responsáveis em converter energia elétrica em mecânica, ocupando papel em destaque na indústria oferecendo energia para a realização de trabalhos em processos fabril. Sendo assim é importante entendermos o seu princípio de funcionamento e procedimentos a serem seguidos para manter sua conservação e confiabilidade.



2.1 UNIVERSO DOS MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica (CHAPMAN, 2013). O princípio de funcionamento de motores elétricos é sempre muito similar uns com os outros, baseia-se na interação entre dois campos magnéticos, que por natureza se atraem ou se repelem.

Os motores são formados por enrolamentos de fios de cobre, normalmente, que, quando percorridos por corrente elétrica formam um campo magnético variante em seu entorno (Lei de ampère), submetendo esse campo magnético formado pelos enrolamentos, em meio a outro campo magnético fixo, surge uma força induzida (Força de Lorentz), que será responsável pelo movimento do rotor (parte móvel de um motor).

Existem motores de corrente contínua (CC), motores de corrente alternada (CA) esses se classificam em duas categorias, síncronos e de indução, e existem motores universais (CC-CA).

Nas máquinas (CA) síncronas, as correntes do enrolamento do rotor são fornecidas diretamente na parte estacionária do motor através de contatos rotativos. Nas máquinas de indução, ocorrem induções de correntes no rotor, através da circulação de corrente elétrica alternada no tempo, nas bobinas do estator, e do próprio movimento do rotor em relação ao estator (FITZGERALD; KINGSLEY, 2014).

2.1.1 Motores elétricos corrente contínua.

As máquinas de corrente contínua podem ser utilizadas como motores ou como geradores. Porém, com a atual evolução da eletrônica de potência, permite-se transformar energia alternada em contínua, de forma controlada e eficiente, o que torna menos usual a operação de máquina de corrente contínua como gerador (HONDA, 2006).

Segundo Chapman (2013), os motores de corrente contínua (CC), apesar de serem chamadas de máquinas de corrente contínua, possuem correntes e tensões alternadas em seu interior. Necessitando de um dispositivo chamado comutador, que tem a função de retificar a tensão no seu interior para o perfeito funcionamento do torque em seu eixo.



Apesar do desenvolvimento de novas tecnologias e novos motores, que em certas oportunidades podem substituir os motores CC. Em algumas situações, ainda é compensadora a utilização desse tipo de máquina.

Quando a aplicação exige controle de velocidade e torque, em regime permanente e dinâmico, esses tipos de motores são excelente alternativa para esta aplicação, pois mesmo variando sua velocidade consegue-se manter um torque considerável (CARVALHO,2008).

Atualmente é possível se controlar a velocidade de motores CA, com o uso dos inversores de frequência, mas este tipo de conjunto não atende às condições de torque exigidas e causam poluição na rede.

2.1.2 Aspectos construtivos dos motores correntes contínua.

O motor de corrente contínua é uma estrutura composta por quatro principais partes: estator, rotor ou armadura, comutador e escovas, sendo que apenas estator e o rotor possuem poderes magnéticos.

O estator, ponto onde é produzido o principal fluxo magnético da máquina, é composto por uma estrutura de ferro magnética com polos salientes, os quais são enroladas bobinas de n espiras que, na presença de corrente elétrica formam o campo magnético. Podemos chamar esses enrolamentos de enrolamentos de campo, existem, também, os enrolamentos de campo do tipo paralelo (Shunt), e série.

Além dos enrolamentos de campo encontrados no estator, tem-se também enrolamentos chamados de interpólos, que são ligados em série com a armadura, para evitar a arreação da mesma, quando percorrida por uma corrente expressiva, os mesmos existem apenas em motores CC de maiores potência.

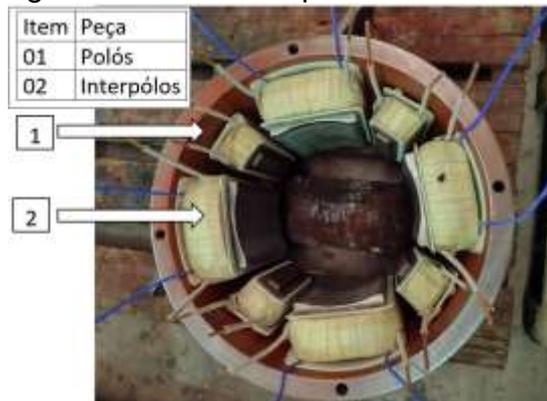
Existem estatores produzidos apenas por ímãs permanente, geralmente essa forma construtiva são utilizadas apenas em motores de pequeno porte.

O rotor, também conhecido como armadura, é a parte giratória do motor. Constituído por um núcleo de ferro que acomoda os enrolamentos das bobinas com n espiras isoladas entre si, nas ranhuras de sua superfície, formando um eletroímã. Tendo em sua construção um sistema formado por um eixo, que sustenta o comutador.

O comutador é uma peça cilíndrica formada por lâminas condutoras separadas por um material isolante, nessas lâminas são conectadas as duas extremidades dos enrolamentos de cada bobina.

As escovas são responsáveis pelo contato do enrolamento da armadura e o exterior, através da pressão exercida normalmente por molas sobre o comutador, são fabricadas geralmente de liga de carbono. Elas sofrem um desgaste natural com o tempo, sendo importante executar inspeções periodicamente em suas condições, caso seja necessário efetuar a sua troca (CARVALHO, 2008). Na Figura 1, podemos observar um estator de uma máquina de corrente contínua.

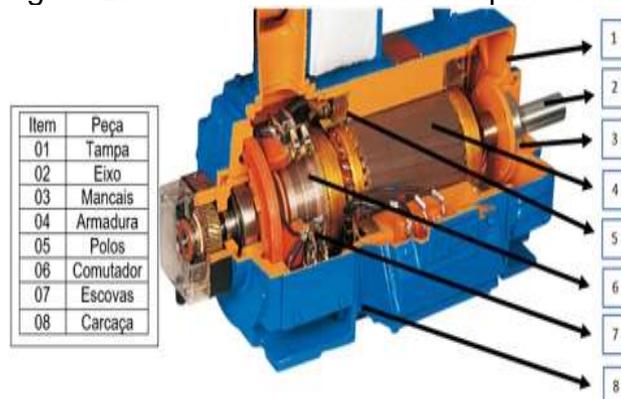
Figura 1: Estator Máquina CC.



Fonte: Do autor (2021).

Na Fig. 2, observa-se observar uma vista aberta de uma máquina CC comercial típica e suas partes.

Figura 2: Vista aberta de uma máquina CC.



Fonte: WEG (2020)



2.1.3 Princípios de funcionamento da máquina Corrente Contínua.

Segundo Chapman (2013), o princípio de funcionamento das máquinas CC é muito simples. Para entender o princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua, usa-se um dos exemplos mais simples de máquina rotativa CC; onde o rotor, podemos representar com uma única espira quadrada de fio condutor, girando em torno de um eixo fixo. O estator, que é a parte fixa, representamos por um imã magnético responsável pelas linhas de fluxos.

A espira fica encaixada no espaço entre os dois polos do estator, apoiadas por mancais, devido à estrutura física das peças, o encaixe entre a espira e os dois polos do estator resulta em um intervalo entre ambas as peças com uma largura constante, onde se forma um entreferro de ar.

Chapman (2013) afirma que a relutância do ar é superior à relutância do ferro, sendo assim as linhas de fluxos magnéticos produzidas pelo estator tendem a percorrer o menor caminho entre o estator e o rotor, evitando ao máximo ficarem no ar. Logo, as linhas de campo avançarão sempre com um caminho perpendicular, saindo do estator e entrando no rotor com um ângulo de 90 graus. Com essa característica o fluxo magnético de uma máquina CC no seu interior é todo destorcido.

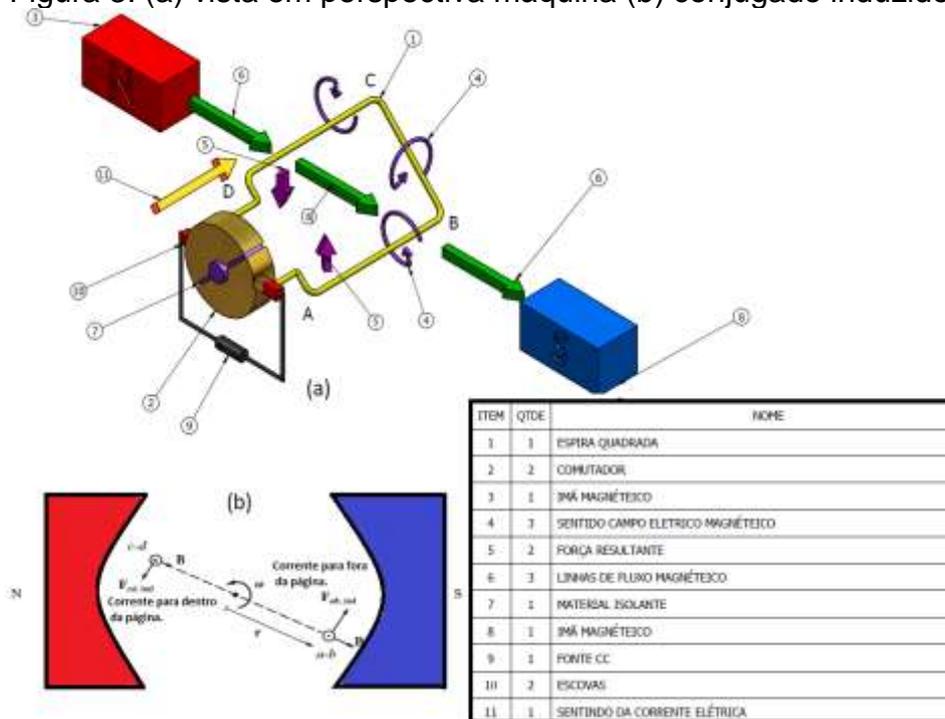
O rotor vai se movimentar sobre as linhas de fluxos, induzindo, assim, uma tensão nos terminais de suas bobinas (Lei de Faraday), então ele passa a produzir linhas de fluxos, tornando mais irregular o fluxo magnético no interior da máquina.

Considerando, para efeito ilustrativo uma espira retangular, com os lados *AB* e *CD* perpendiculares ao plano da página, e os lados *BC* e *DA* paralelos ao plano da página. Levando em conta que o estator é formado por um imã permanente, e possui linhas de fluxos constantes em todo seu núcleo, percorrendo a direção norte a sul. Podemos determinar o conjugado induzido na espira, quando conectarmos uma fonte de tensão na mesma e, conseqüentemente, começa a circular uma corrente elétrica por ela.

2.1.4 Conjugado em uma máquina de corrente contínua.

Um condutor com circulação de corrente elétrica mergulhado em um campo elétrico com uma determinada densidade de fluxo, produz um conjugado, com direção e sentido. Para abordar esse conjugado, deve-se examinar um segmento da espira por vez. Adotando a Eq. 1 a seguir, da força que atua sobre a espira. A Fig. 3 contribuirá para melhor compreensão do conjugado induzido na máquina CC.

Figura 3: (a) vista em perspectiva máquina (b) conjugado induzido.



Fonte: Do autor (2021)

$$F_F = i \cdot (l \times B) \tag{1}$$

Onde:

F_F = Força induzida newton (N).

i = Corrente elétrica ampère (A).

B = a densidade de fluxo magnético, ou indução magnética, tesla (T).

l = o comprimento do condutor em metros (m).

Equação do conjugado que atua no eixo do motor:

$$\tau = r F_F \sin \theta \tag{2}$$



Onde:

τ = Conjugado (N.m)

r = Raio em metros (m).

F_F = Força induzida newton (N).

θ = Ângulo entre os vetores.

Logo, o conjugado total induzido sobre a espira será:

$$\tau_{total} = \tau_{ab} + \tau_{bc} + \tau_{cd} + \tau_{da} \quad (3)$$

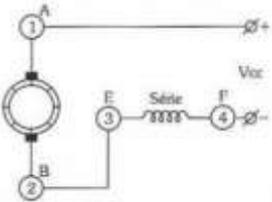
$$\tau_{total} = rIlB + 0 + rIlB + 0 \quad (4)$$

$$\tau_{total} = 2rIlB \quad (5)$$

2.2 TIPOS DE EXCITAÇÃO EM MOTORES CORRENTE CONTÍNUA.

O Quadro 1 apresenta as diversas formas de conectar os enrolamentos de campo e amadura e as características magnéticas interna dos motores.

Quadro 1: Tipos de excitação motores CC.

Tipo de excitação	Representação	Características
Série		<ul style="list-style-type: none">• Os enrolamentos de campo e de armadura são ligados em série.• Campo magnético do estator provém da mesma corrente aplicada na armadura.• Conjugado elevado em baixa rotações.• Potência constante.• Regulação de velocidade ruim, todo aumento de carga resulta em queda de velocidade.• Podem se atingir velocidade extremas, caso ligado sem carga, resultando na destruição do motor.• Aplicação onde há alta carga de inercia.

<p>Paralelo</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Os enrolamentos de campo e de armadura são ligados em paralelo. • O movimento e o torque no motor, são resultados da interação do campo magnético criados no estator e na armadura. • Velocidade praticamente constante. • Boa regulação de velocidade através da mudança da tensão de armadura. • A FCEM, induzida na armadura impede que o motor atinja velocidades perigosas sem cargas.
<p>Compound</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Combina o melhor da ligação série e o melhor da ligação paralelo. • Utilizados onde a necessidades de velocidade constante com variação extrema de carga.

Fonte: Carvalho (2008, p.92)

Segundo Carvalho (2008), as bobinas dos enrolamentos de campo, quando alimentadas por corrente elétrica, produzem campos magnéticos, que serão capazes de atravessar a armadura. Se houver força eletromotriz (FEM) na armadura, o rotor gira e suas bobinas atravessam constantemente as linhas de campo do estator, surgindo uma força contra eletromotriz (FCEM). Dessa forma, a velocidade do motor de corrente contínua é relacionada pela interação das duas forças. FEM força aplicada a armadura e FCEM gerada na armadura pelo campo magnético do estator cortando a armadura.

2.3 MANUTENÇÃO EM MOTORES CORRENTE CONTÍNUA.

A manutenção em motores elétricos é de indiscutível importância para a preservação e segurança de uma máquina, evitando falhas que possam prejudicar a produção de um equipamento.

É necessário seguirmos normas que regem os serviços que envolvem eletricidade. Motores elétricos, quando utilizados incorretamente ou com manutenções precárias, colocam em risco vidas e equipamentos. Em conformidade



com isso é de extrema importância que este procedimento seja efetuado de acordo com normas e por pessoas qualificadas. As seguintes seções referentes ao tópico de manutenção em motores CC, são baseados em um artigo da empresa INO (2020).

2.3.1 Armazenagem

Motores elétricos CC devem ser armazenados totalmente limpos e em locais secos, livres de insetos e roedores, vapores e vibrações. Deve-se evitar deixar as janelas de espação e caixas de ligações abertas; não se deve apoiar qualquer tipo de material sobre os motores; as escovas não devem permanecer em contato com o comutador; devem ser retiradas ou afastadas, para evitar que ocorram a corrosão do comutador. A sua carcaça deve ser periodicamente verificada, evitando corrosão e perda da pintura; uma vez por semana deve-se movimentar o eixo, manualmente, para evitar o contato com apenas um ponto da superfície de apoio dos rolamentos.

2.3.2 Resistência de isolamento

A resistência de isolamento de um motor pode sofrer alterações quando armazenado de formas inadequadas, expostos a choques mecânicos ou a altas temperaturas. É aconselhável a medição do valor da resistência de isolamento, antes de ser colocado em serviço o motor.

A norma NBR 5165, Máquinas de corrente contínua – ensaios gerais –, estabelece regras que indicam valores que podem ser esperados nas medidas, com a máquina em condições limpas e a 40°C, quando a tensão de ensaio é aplicada por um minuto.

2.3.3 Secagem

Se a resistência de isolamento estiver abaixo do valor ideal, e o motor havia sido armazenado em local úmido, então o motor deve ser submetido à secagem em estufas fechadas, com resistências elétricas e ventilação, elevando a temperatura deste ambiente até, no máximo 75°C, medidas nas bobinas dos motores, expondo a esta temperatura por seis horas, nenhuma peça do motor deve atingir a temperatura



maior que 90°C. Após o procedimento deve-se medir novamente a resistência de isolamento.

2.3.4 Escovas

As escovas sofrem desgaste natural, ao longo da utilização dos motores. Em virtude disso, devem ser constantemente vistoriadas e substituídas pelos mesmos tipos de escovas fornecidos originalmente, quando apresentarem deterioração em tempo hábil, sempre executando a troca do jogo completo.

Ao serem substituídas as escovas deverão ser acertadas com lixa d'água número 220, a fim de ajustar perfeitamente à superfície do comutador. As escovas devem ter liberdade de movimento no porta escovas, caso estejam obstruídas devem ser retiradas e limpas, e o porta escova reparado, se necessário.

As escovas devem exercer uma pressão regular, sobre o comutador, para uma melhor distribuição de corrente elétrica. Para as escovas serem consideradas bem assentadas, elas devem estar em contato de, no mínimo, 75% da sua área de superfície, com o comutador.

2.3.5 Comutador

O comutador é peça fundamental para o perfeito funcionamento do motor de corrente contínua, sua conservação é de indiscutível relevância, por isso se fez necessário uma manutenção periódica.

O comutador não deve ser contaminado com graxa e pó, e os sulcos entre as lâminas devem ser mantidos limpos. Podemos observar o Quadro 2 e sua coloração para analisar sua condição.

Quadro 2: Conservação comutadores.

Coloração	Condição	Manutenção
Marrom escura ou levemente negra	Normal	-
Brilhante, Lustrosa ou áspera	Escovas inadequadas	Trocar o tipo de escova.
Negra e espessa	Sobrecargas, prolongadas com presença de umidade	Remover esta camada por meio de lixa número 220.

Fonte: INO (2020).



2.4 ENSAIOS GERAIS MÁQUINAS CORRENTE CONTÍNUA

A execução dos ensaios em máquinas elétricas tem como objetivo obter-se dados que podem ser utilizados por profissionais para indicar as características atuais do equipamento ensaiado. Assim como qualquer outra atividade que envolve eletricidade, os ensaios também devem sempre ser executados por técnicos qualificados na área em questão.

2.4.1 Ensaio de resistência ôhmica

Este tipo de ensaio serve para medir a resistência de todo o comprimento de cada fase. Este é o ensaio para comparar os valores obtidos com valores calculados de resistência de motores novos, ou com valores originais, quando ocorreu um conserto ou rebobinagem das bobinas, servindo como uma avaliação de condição do motor.

O equipamento para medir a resistência ôhmica do enrolamento pode ser um ohmímetro, ou um método indireto com auxílio de uma fonte de corrente contínua, onde mede-se a tensão aplicada e a corrente que circula nas bobinas, e com auxílio da lei de ohm, chega-se ao valor da resistência.

2.4.2 Ensaio de resistência isolamento

Seguindo a norma NBR 5165 Máquinas de corrente contínua – ensaios gerais, que estabelece os critérios para este teste, sendo este, o mais importante, que visa buscar anormalidades na isolação dos enrolamentos do motor. Como os motores são suscetíveis à água, poeira, graxas, agentes químicos, agentes térmicos e choques mecânicos, a isolação de um enrolamento ou de um pacote de bobinas pode ser enfraquecida.



2.4.3 Ensaio de tensão suportável

Seguindo as normas de ensaios gerais e métodos de ensaios, em máquinas CC (NBR 5165), este é um ensaio conhecido como tensão aplicada, para solidificar o que disse-se anteriormente, que o controle da isolação é importante; é um outro tipo de ensaio que tem o mesmo objetivo apontar o estado da isolação do enrolamento. É o ensaio simples e, assim como todos os outros ensaios, devem ser feitos por profissionais qualificados, exigindo atenção pelo motivo do uso de tensão com valores elevados.

2.4.4 Ensaio a vazio

Este ensaio tem como objetivo obter os parâmetros do circuito, equivalente do motor a vazio, como corrente em vazio, e os parâmetros dos circuitos, equivalente do motor CC, “Xmag” (reatância), e a “RP” resistência mecânica de perdas no ferro e mecânicas por fase. Neste ensaio é possível obter a curva de magnetização ou curva de saturação a vazio.

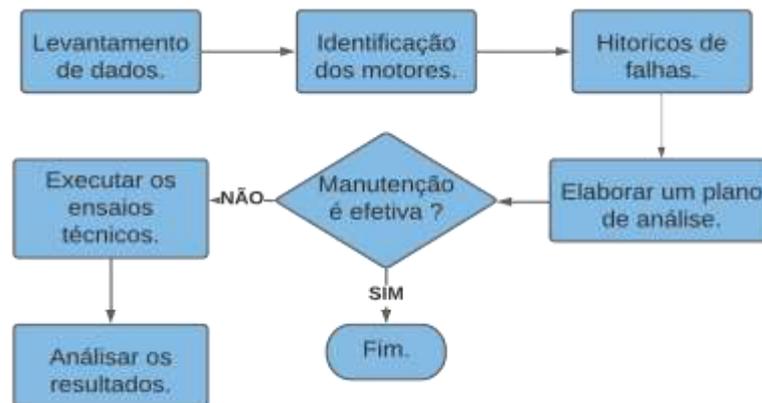
2.4.5 Ensaio em carga nominal

Ensaio em carga nominal são ensaios realizados em freio eletrodinamométrico. Essa máquina pode ser denominada de gerador-freio e o motor a ser ensaiado é acoplado nesse equipamento, com o objetivo de fornecer, através de uma balança ou de um dinamômetro, o torque que o motor ensaiado fornece ao eixo do gerador-freio.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Esta seção apresenta a metodologia adotada para o levantamento e solução das anormalidades apresentadas nos motores de tração dos mineradores. O processo seguirá a sequência de etapas, conforme representada na Fig. 4.

Figura 4: Fluxograma do processo.



Fonte: Do autor (2020).

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Elaborou-se um levantamento de dados, retratando as diferentes falhas elétricas de alta relevância, no período do ano de 2019, com frequência mensal. Esses números permitiram a construção de uma planilha gráfica que demonstra, em intervalo de horas, a duração das falhas.

Com um levantamento completo e elaborado, obteve-se um histórico de falhas dos motores e identificou-se que a manutenção realizada até então, não estava cumprindo com os seus objetivos, de eliminar os defeitos e manter a disponibilidade do equipamento, interferindo no alcance das metas da empresa e oportunizando o desenvolvimento dessa pesquisa.

Em seguida, elaborou-se um plano de análises a serem realizadas, a fim de mitigar os problemas encontrados. A realização dos testes ocorreu por meio de serviços terceirizados, sendo estes listados no tópico 3.3.

3.2 DISPONIBILIDADE E CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES

A empresa dispõe de três mineradores contínuos, sendo que cada minerador utiliza dois motores de tração, lado direito e esquerdo.

Com um estoque de 12 motores reserva, localizados na superfície da mina em uma estufa elétrica, respeitando as condições corretas de armazenamento conforme descrito anteriormente. A Fig.5, a seguir, exibe um motor de tração.

Figura 5: Motor de Tração



Fonte: Do autor (2020).

O Quadro 3, a seguir, apresenta as características técnicas do motor.

Quadro 3: Dados Motor de Tração.

Tensão Nominal	250 Vcc
Potência Nominal	35 HP
Corrente Nominal	120 A
Rotação Por Minuto	1460 RPM
Tipo de Excitação	Serie
Números De Polos	04
Grau de Proteção	IP67
Marca	JOY

Fonte: Do autor (2020).

Os equipamentos receberam números de identificação, com o objetivo de organizar e facilitar o estudo e tornar-se possível a identificação dos 18 motores. Assim, tornando-se praticável controlar e observar a rotina de cada motor de forma mais precisa.

3.3 ENSAIOS DOS MOTORES

Os ensaios foram realizados em uma empresa de tecnologia em motores elétricos de corrente contínua, localizada no município de Siderópolis/SC. Todos os testes são realizados conforme os critérios estabelecidos pelas normativas brasileiras. Os valores encontrados foram analisados.



3.3.1 Ensaio de resistência Ôhmica

A resistência ôhmica dos enrolamentos das bobinas dos motores foi obtida, através da medição de forma direta, com auxílio de um ohmímetro, mediante ensaio de resistência ôhmica, obedecendo à norma NBR 5165. Com a utilização do aparelho Ohmímetro, da marca Megabras, modelo MPK-256.

3.3.2 Ensaio de resistência isolamento

A resistência de isolamento, entre as fases do enrolamento e a massa, foi obtida mediante ensaio de resistência isolamento obedecendo à norma NBR 5165. Com a utilização do aparelho chamado megômetro, da marca Minipa, modelo MI-2701A.

3.3.3 Ensaio a vazio

Os parâmetros a vazio do motor foram obtidos mediante o ensaio a vazio obedecendo a norma NBR 5165. Com a utilização do aparelho eletrodinamométrico equacional 90KW, 1800RPM. As demais referências são informações sigilosas da empresa.

3.3.4 Ensaio Carga nominal

Os parâmetros de carga nominal do motor foram obtidos mediante o ensaio em carga nominal, obedecendo à norma NBR 5165. Com a utilização do aparelho eletrodinamométrico equacional 90KW, 1800RPM. As demais referências são informações sigilosas da empresa. O objetivo, aqui, é analisar o atual torque induzido pelo motor.



3.3.5 Teste de perda no núcleo

A condição do núcleo de ferrosilício dos motores e os possíveis pontos quentes foram analisados através do teste de perda no núcleo. Os testes foram orientados obedecendo às instruções do fabricante da máquina. Foi utilizado equipamento da marca PHENIX, modelo CL125.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A contribuição dos motores de tração, no ano de 2019, chegou a 22% do total de horas paradas dos mineradores.

4.1 HORAS PARADAS POR FALHAS ELÉTRICAS E AS PRINCIPAIS FALHAS

A Tabela 1, a seguir, demonstra a percentualidade da participação de horas paradas dos motores de tração em relação ao total geral de horas paradas de cada minerador.

Tabela 1: Participação dos motores nas horas paradas gerais

Minerador	Horas Paradas Geral	Horas Paradas Falhas Motores de Tração	%
MC-01	1.776,06	629,80	35
MC-02	1.339,86	313,92	23
MC-03	1.178,83	13,92	01
Total	4.294,75	957,66	22

Fonte: Do autor (2021)

Com a análise da tabela notou-se a ineficácia da manutenção empregada nos motores. É possível, inclusive, observar que os defeitos ocorreram nos mineradores MC-01 e MC-02.

A Fig. 6, a seguir, exibe um gráfico do histórico do MC-01, apontando as falhas elétricas de maior relevância. Com a frequência mensal, no período de 2019, que demonstra com uma linha em azul o total de horas paradas por falhas elétricas de cada mês, e com gráficos de formato de barras, a contribuição discriminada das falhas

elétricas, sendo destacado em cor vermelha as barras dos motores de tração.

Figura 6: Falhas elétricas MC-01.



Fonte: Do autor (2021).

4.2 INTERFERÊNCIA NA PRODUÇÃO

A Tabela 2, a seguir, exhibe o resultado da produção total de cada um dos mineradores no ano de 2019.

Tabela 2: Produção total em toneladas no ano de 2019.

Minerador	2019 (t)	Meta (t)	% eficiência
MC-01	290.863	472.032	62
MC-02	402.292	472.032	85
MC-04	415.057	472.032	88

Fonte: Do autor (2021)

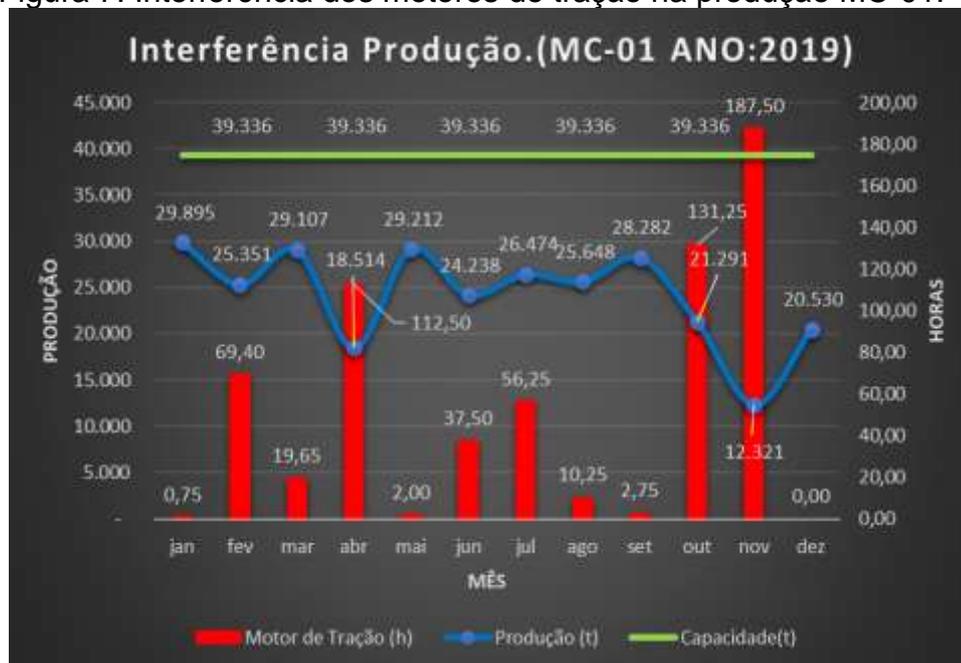
Como se pode observar, no ano de 2019, o minerador MC-01 teve um rendimento de 62%, que é considerado um valor muito abaixo de sua meta.

Para melhor identificar a causa desse rendimento inesperado foi elaborado o gráfico que relaciona a produção, em toneladas, com as falhas elétricas em horas. A Fig. 7, a seguir, exhibe a interferência dos motores de tração na produção do



minerador MC-01

Figura 7: Interferência dos motores de tração na produção MC-01.



Fonte: Do autor (2021)

O gráfico demonstra que os motores de tração interferiram, diretamente, na baixa eficiência da produção do minerador MC-01.

Justificando a diferença de 181.169,00 toneladas entre a sua meta e o resultado operacional do ano de 2019.

4.3 HISTÓRICO DE FALHAS

Neste ano em análise houve um total de 55 trocas dos motores de tração, o que traduzia uma baixa longevidade desses equipamentos. A Tabela 3, a seguir, demonstra a durabilidade média dos motores, quantidade de trocas e média de substituição por mês.

Tabela 3: Histórico de falhas 2019.

Motor elétrico	Longevidade média (Meses)	Números de Trocas no ano	Média de trocas ao mês
Motor da Tração	1,8	55	4,6

Fonte: Do autor (2021)

4.4 PLANO DE ANÁLISES DOS MOTORES

No mês de setembro de 2019 aconteceu a substituição da empresa terceirizada que executava a manutenção nos motores, passando a ser elaborada em uma instituição com a capacidade para executar os ensaios técnicos necessários para o correto procedimento de manutenção.

Os ensaios técnicos executados na terceirizada sempre foram acompanhados por um técnico da carbonífera, na parte de inspeção inicial e final.

4.5 ANORMALIDADES ENCONTRADAS.

Este capítulo apresenta os dois principais tipos de anormalidades encontrados.

4.5.1 Motor de número 19

O motor de número 19, enviado para manutenção, foi recebido com as condições exibidas nas Figuras 8 e 9, a seguir, que apresenta o motor fechado e aberto, na inspeção inicial.

Figura 8: Motor 19 fechado



Fonte: Do autor (2019)

Figura 9: Motor 19 aberto



Fonte: Do autor (2019).

4.5.2 Inspeções elétricas iniciais

O motor 19 foi submetido aos ensaios técnicos iniciais, de resistência ôhmica e resistência de isolamento. A armadura e o comutador foram reprovados. Devido à situação em que a armadura se encontrava era impraticável executar os testes de resistência ôhmica e resistência de isolamento, pois suas bobinas estavam visivelmente defeituosas. Apontando, assim, a necessidade de retirar as bobinas e executar um ensaio de ponto quente, e se aprovada nesse ensaio, executar uma nova rebobinagem.

O comutador apresentava desgaste e uma textura áspera com a coloração negra, com pontos de faiscamento, o que representava sobrecarga e ou a contaminação com água, graxa e óleo e corpos estranhos. Em situações extremas, como a que se apresentava o comutador, apenas o processo de limpeza e uma usinagem não é a o recomendado; desta forma, os técnicos da carbonífera optaram por substituir o comutador atual por um novo comutador.

Com objetivo de melhorar seu desempenho e possuir maior precisão nos ensaios executados, o campo e interpolo necessitaram de uma limpeza. Pelo motivo de estarem contaminados com graxa, água e corpos estranhos, devido à agressividade do ambiente de aplicação, e o desgaste e falta de alguns anéis de



vedação.

Após o processo de lavagem e secagem em estufa, o campo e interpolo foram submetidos aos ensaios de resistência ôhmica e de resistência de isolamento, sendo ambos aprovados. A Fig. 10 exibe os resultados dos testes.

Figura 10: Ensaios iniciais.

RESISTENCIA OHMICA (Temperatura Amb. 24 °C)					
<i>INO OF 003 Operação 1,2 e 3.</i>					
Local	Valor Medido	un	Aprovado	Reprovado	
Armadura Interlaminar	Não aplicado			X	
Armadura 90°() 120°()					
Campo	0,0286	Ω	X		
Interpolo	0,0238	Ω	X		

RESISTENCIA ISOLAÇÃO MEGOMETRO 500V					
<i>INO OF 003 Operação 7.</i>					
Local	Valor Medido Após Desmontagem	Valor Medido Após Limpeza	un	Aprovado	Reprovado
Armadura	0	0	MΩ		X
Campo	0	1000	MΩ	X	
Interpolo	0	1000	MΩ	X	

Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

4.5.3 Ensaio de ponto quente

A armadura do motor 19 foi submetido ao ensaio de perdas no núcleo e ensaio de ponto quente. A Fig. 11 exibe os resultados do teste de perda no núcleo.

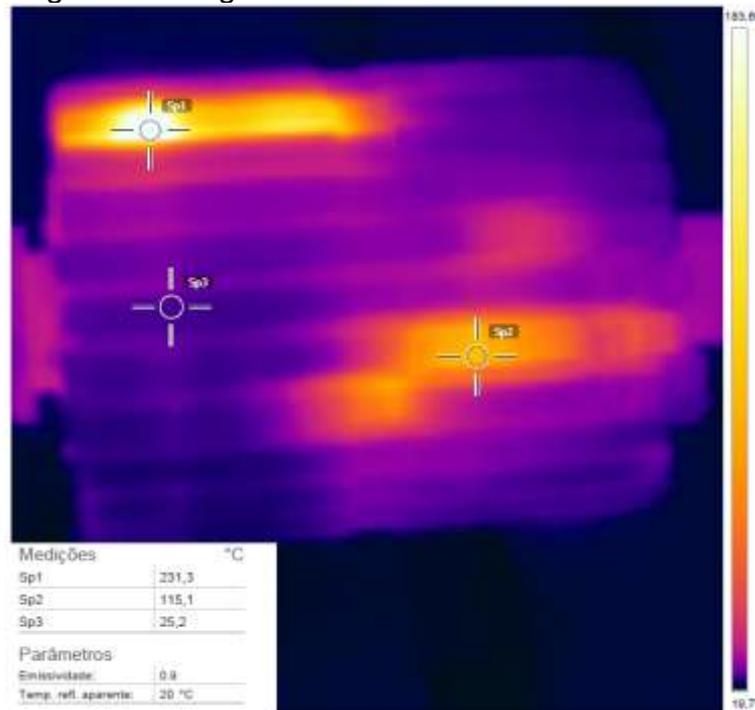
Figura 11: Ensaios de perda no núcleo.

Rotor Data (All dimensions are in Millimeters)					
Serial No:	19	Voltage:	250 V		
Manufacturer:	JOY	Current:	120 A		
Model No:	JOY35HP	Horsepower:	35 HP		
Frame:	41J9	RPM:	1960		
Diameter:	196	Tooth Width:	11,5	Vent Width:	0
Core Length:	234	Number Of Teeth:	29	Number of Vents:	0
Back Iron:	42	Approx. Weight:	35,30 kG	Vent Hole Dia:	0
Slot Depth:	28,5	Approx. Circum.:	304,73	Number of Holes:	0
Core Loss Test					
Voltage:	3,285 V	Core Loss:	13,71 W / kG	(ANALISAR)	
Power:	0,484 kW	Reluctance:	0,633 A.T. / mm		
Current:	193 A	Flux Density:	13,2 Kilogauss		
			Power Factor:	0,76	(ANALISAR)
Core Loss < 10,00 W/kG is aprovado, 10,00-22,00 W/kG is analisar, and > 22,00 W/kG is reprovado.					
Power Factor < 0,70 is aprovado, 0,70-0,90 is analisar, and > 0,90 is reprovado.					
Hot Spot Test					
Current (A):	579				
Duration (min:sec):	03:22				
Findings:					

Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

A Fig. 12, a seguir, exhibe a imagem térmica da armadura, capturada por uma câmera termográfica em uma temperatura ambiente de 20 graus celsius.

Figura 12: Imagem térmica da armadura.



Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

O nível de perda do núcleo relatado no teste é considerado acima do normal e ocorreu a formação de pontos quentes (115,1 a 231,3 graus celsius) parâmetros suficientes para reprovar o pacote.

A formação de pontos quentes é resultado da exposição a sobrecargas prolongadas, tornando a temperatura nas lâminas do núcleo superior, sobre a qual as mesmas foram projetadas, prejudicando a sua isolamento e suas próprias características elétricas. Deste modo, surgem correntes de Foucault entre as lâminas, provocando o aquecimento.

Os pontos quentes também podem ser formados, quando o serviço de rebobinagem de uma armadura é de pobre qualidade técnica, com o uso de ferramentas que não controlam a temperatura da chama dos equipamentos utilizados para desalocar as bobinas dos *slots* da armadura, ultrapassando os valores máximos de temperatura suportados pelo discos.

A Fig. 13 exhibe em detalhe um local no disco de armadura onde houve a

formação de ponto quente, percebe-se uma deformação na lâmina o que indica que temperatura no ponto foi excedida acima do seu limite.

Figura 13: Disco de armadura deformado.



Fonte: Do autor (2019).

Dessa forma, o pacote está condenado, apontando que apenas uma rebobinagem das bobinas de armadura não seria o suficiente para a execução de um serviço com a qualidade necessária. Sendo recomendada a construção de um novo pacote de armadura, trocando todas as lâminas de aço silício da armadura, por lâminas novas idênticas as originais.

4.5.4 Ensaio de ponto quente na armadura nova

Após a importação das novas lâminas de aço silício, ocorreu a montagem da nova armadura. O novo pacote foi submetido ao ensaio de perdas no núcleo e ensaio de ponto quente. A Fig. 14 exibe os resultados do teste de perda no núcleo.

Figura 14: Ensaio de perda no núcleo.

Core Loss Test			
Voltage:	3,283 V	Core Loss:	8,75 W / kG (APROVADO)
Power:	0,309 kW	Reluctance:	0,584 A.T. / mm
Current:	178 A	Flux Density:	13,2 Kilogauss
		Power Factor:	0,53 (APROVADO)

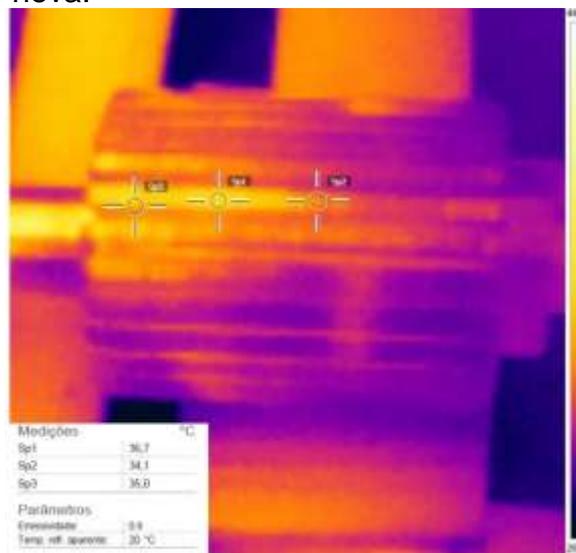
Core Loss < 10,00 W/kG is aprovado, 10,00-22,00 W/kG is analisar, and > 22,00 W/kG is reprovado.
Power Factor < 0,70 is aprovado, 0,70-0,90 is analisar, and > 0,90 is reprovado.

Hot Spot Test	
Current (A):	535
Duration (min:sec):	03:40
Findings:	

Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

A Fig. 15, a seguir, exibe a imagem térmica da armadura, capturada por uma câmera termográfica em uma temperatura ambiente de 30 graus celsius.

Figura 15: Imagem térmica armadura nova.



Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

O nível de perda do núcleo relatado no teste é considerado normal e não ocorreu a formação de pontos quentes, parâmetros suficientes para aprovar o pacote, permitindo que seja aplicado as novas bobinas no pacote. A Fig. 16 exibe a construção da armadura em fase final, um conjunto novo formado pela armadura e comutador.

Figura 16: Armadura nova.



Fonte: Do autor (2019).

4.5.5 Inspeções elétricas finais

Após a conclusão do processo de reconstrução da armadura, foi possível executar a montagem do motor, permitindo iniciar as inspeções elétricas finais.

Os resultados dos ensaios satisfizeram todos os requisitos esperados de acordo com as características de construção do motor, quando comparado a um motor novo. Os resultados dos ensaios, em vazio e em carga, são exibidos na Fig. 17.

Figura 17: Ensaio em vazio e em carga.

3.1 Ensaio em Vazio INO OF 014						
Local	Valores			Aprovado	Reprovado	
Armadura	VA:	46	V	X		
	IA:	17	A			
Excitação	VE:	-	V			
	IE:	-	A			
Rotação	Sent. Horário:	1462	RPM	X		
	Sent. Anti-horário:	1470	RPM			
3.3 Ensaio em Carga (Sentido anti-horário) INO OF 019						
Local	Valores			Aprovado	Reprovado	RNC
Armadura	VA:	250	V	X		
	IA:	120	A			
Excitação	VE:	-	V	X		
	IE:	-	A			
Rotação		1522	RPM	X		
Potência Útil (Calculada)		27,0	KW	X		
FB (Lida)		17,28	mKgf	X		

Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

Os resultados dos ensaios elétricos, são exibidos na Fig. 18.

Figura 18: Ensaio elétrico.

3.4 Tensão Aplicada INO OF 003 Operação 13.						
Local	Valor Medido				Aprovado	Reprovado
	Tensão	un	Corrente fuga	un		
Armadura	1500	vcc	0,8	μA	X	
3.5 Resistência Ôhmica (Temperatura Amb. 24 °C) INO OF 003 Operação 1, 2 e 3.						
Local	Valor Medido			un	Aprovado	Reprovado
Armadura Interlaminar	0,00342 a 0,00344			Ω	X	
Armadura 90°(X) 120°(X)	0,0498 / 0,00177			Ω		
Campo	0,0286			Ω	X	
Interpolo	0,0238			Ω	X	
3.6 Resistência Isolação INO OF 003 Operação 7.						
Local	Valor Medido			un	Aprovado	Reprovado
Armadura	1000			MΩ	X	
Campo	1000			MΩ	X	
Interpolo	1000			MΩ	X	

Fonte: Vanessa Do Livramento (2019).

4.6 CENTRIFUGAÇÃO DA BOBINA DE ARMADURA

Na inspeção inicial de alguns motores podia-se perceber, visivelmente, que as bobinas das armaduras estavam danificadas, pois não se encontravam alocadas nos *slots* apropriados para a sua acomodação nas lâminas dos rotores. A Fig. 19 exhibe a centrifugação da bobina de armadura.

Figura 19: Centrifugação da bobina de armadura



Fonte: Do autor (2019).

Devido à força centrífuga exercida no movimento de rotação da armadura, as bobinas eram lançadas para fora dos seus *slots*, o que demonstrava problemas na estrutura física das armaduras, ocasionando falhas nos motores.

Com a inspeção visual dos rotores podia-se perceber um defeito nos dentes da armadura, que era um desgaste nas travas responsáveis por fixar as bobinas nos

slots. A Fig. 20, a seguir, exibe uma armadura com defeito nos dentes, ficando visível o desgaste nas travas.

Figura 20: Armadura com defeito.

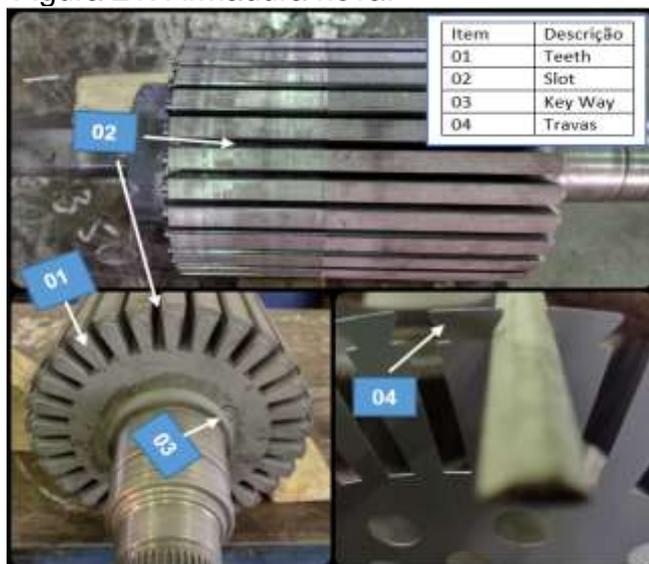


Fonte: Do autor (2021).

O defeito descrito condena a funcionalidade da armadura, havendo uma única solução: a construção de uma nova armadura idêntica a original do motor.

A Fig. 21 exibe uma armadura em estado de nova, produzida pela terceirizada com as características elétricas, dentes e as travas das bobinas em perfeitas condições e idênticas à original.

Figura 21: Armadura nova.



Fonte: Do autor (2021).



4.7 TOTAL DE HORAS PARADAS ANO DE 2019 e 2020

A Tabela 4 apresenta o levantamento de dados das interferências dos motores de tração, das horas paradas dos mineradores e, conseqüentemente, na produção, nos anos de 2019 e 2020.

Tabela 4: Total horas paradas ano de 2019/2020.

Falhas/ano	2019	%	2020	%
Falhas Gerais	4.294,75	100	3.417,74	100
Falhas Elétricas	1.745,43	41	549,29	16
Motores de Tração	957,63	22	23,36	01

Fonte: Do autor (2021)

Nota-se a eficiência da manutenção empregada nos motores. As horas paradas por falhas dos motores elétricos de tração sofreram uma redução de, aproximadamente, 98% em relação ao ano de 2019.

4.8 INTERFERÊNCIA NA PRODUÇÃO

A Tabela 5, a seguir, exhibe o resultado da produção total de cada um dos mineradores nos anos de 2019 e 2020.

Tabela 5: Produção total em toneladas no ano de 2019.

Minerador	2019 (t)	Meta (t)	% eficiência	2020 (t)	%eficiência
MC-01	290.863	472.032	62	316.537	67
MC-02	402.292	472.032	85	387.620	82
MC-04	415.057	472.032	88	299.334	63

Fonte: Do autor (2021)

Como se pode observar, no ano de 2020, o minerador MC-01 e MC-04 tiveram um baixo rendimento. Mesmo com o objetivo de redução das horas paradas atingido, os números foram abaixo do esperado, justificando-se pelo impacto negativo na produção da indústria global, sofrido pela pandemia de COVID-19 e por falhas encontradas na jazida de carvão



4.9 HISTÓRICO DE FALHAS EM 2020.

Neste ano em análise houve um total de nove trocas dos motores de tração, o que traduziu uma alta na longevidade desses equipamentos. A Tabela 6, a seguir, demonstra a durabilidade média dos motores, quantidade de trocas e média de substituição por mês.

Tabela 6: Histórico de falhas 2020.

Motor elétrico	Longevidade (Meses)	Números de Trocas	Média de trocas ao mês
Motor da Tração	6,1	9	0,75

Fonte: Do autor (2021)

Nota-se a eficiência da manutenção empregada nos motores. O número de trocas dos motores no ano de 2020 reduziu, aproximadamente, 83% em relação ao ano de 2019.

5 CONCLUSÕES

Diante do exposto, constatou-se que o controle com indicadores de desempenho dos equipamentos determina a eficiência de um processo, e o rastreamento de todos os dispositivos de uma máquina demonstra a raiz de um rendimento inesperado.

Quando identificado qual equipamento possui falhas sejam elas rotineiras ou não, é preciso elaborar uma investigação minuciosa para descobrir a origem dessa anomalia, isso permite uma ação eficaz para sanar as falhas no processo.

Sendo assim constatou-se que as anormalidades sofridas nos motores de tração estavam relacionadas com a sua forma de serventia e o ambiente onde são aplicados estes equipamentos, e que as suas falhas interferiram diretamente na produção.

Entretanto, a qualidade técnica da manutenção executada nos equipamentos anteriormente a esta pesquisa interferia diretamente na sua vida útil, pois a técnica utilizada de baixa qualidade não solucionavam os defeitos, e os tornavam cada vez mais, frequentes. Colocando em risco o processo produtivo desta



indústria trazendo sérios problemas para a sua saúde financeira.

Os ensaios técnicos executados e acompanhados por profissionais qualificados dotados de equipamentos de qualidade e orientados por normas, demonstraram defeitos, muitas vezes, imperceptíveis ao olho nu e, que quando não corrigidos, acarretaram imperfeições nos equipamentos, resultando em um mal funcionamento.

Os números dos resultados da nova metodologia de manutenção dos motores, demonstraram um aumento significativo em sua vida útil, o que comprovou a relevância da pesquisa.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Geraldo. **Máquinas elétricas**: teoria e ensaios. 2. ed. São José dos Campos: Editora Érica, 2008. 264 p.

CHAPMAN, S. J. Fundamentos de máquinas CC. *In*: _____. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013. p. 404-461.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro. EPE, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) (Brasília). **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 04 set. 2020.

FITZGERALD, A. E; KINGSLEY JUNIOR, C.; UMANS, S. D. Introdução às máquinas rotativas. *In*: _____. **Máquinas Elétricas**. 7. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda 2014. P. 190-390.

GONÇALVES, Teresinha Maria; FOLLMANN, José Ivo; PHILOMENA, Gerson Luiz Boer. **Aspectos da cultura do carvão em Criciúma (SC)**: a história que não se conta. História Unisinos, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 244-255, 31 ago. 2012. UNISINOS - Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. <http://dx.doi.org/10.4013/htu.2012.162.07>. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/historia/article/view/htu.2012.162.07/1011>> Acesso em: 04 set. 2020.

HONDA, F.; **Motores de corrente contínua**: Guia rápido para uma especificação precisa. 1. ed. São Paulo: Siemens 2006.



IBGE. **Criciúma é conhecida por ser a Capital Brasileira do Carvão e do Revestimento Cerâmico**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=447149&view=detalhes>> Acesso em: 04 set. 2020

INO. **Manual Ino de manutenção de motores elétricos de corrente contínua**. 2020. Disponível em <http://www.ino.com.br/downloads/ino_manual_completo.pdf> Acesso em: 04 set. 2020.

SELEME, Robson. **Manutenção Industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: Editora Intersabores, 2015. 144 p.

SHANTARENKO, Sergey; KUZNETSOV, Victor; PONOMAREV, Eugene; VAGANOV, Alexander; EVSEEV, Alexey. Influence of Process Parameters on Dynamics of Traction Motor Armature. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 54, p. 961-971, 2021.

SHANTARENKO, Sergey; PONOMAREV, Evgeniy; VAGANOV, Alexander. Performance Control of the Commutator-and-brush Assembly of the Traction Motor. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 54, p. 854-861, 2021.

VANESSA DO LIVRAMENTO (Santa Catarina). Relatório de ensaios: fotos do recebimento do equipamento. Siderópolis: Ino, 2019. 11 p.

WEG (Jaraguá do Sul). **Guia de Especificação de Motores Elétricos**. 2020. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 04 set. 2020.

_____. **Motores corrente CC**. s/d. Disponível em <https://www.weg.net/catalog/weg/AG/pt/WEN_DLIN>. Acesso em 10 outubro 2020.