

# A APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE CORRENTE PARA DETECÇÃO DE BARRAS QUEBRADAS NOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS NA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Harison Araújo Antunes<sup>2</sup>  
Rogério Hubner Rocha<sup>3</sup>  
Jessui de Oliveira Filho<sup>4</sup>  
Amarildo Spinassé<sup>4</sup>  
Aderaldo Calente<sup>5</sup>

## Resumo

A maioria das máquinas modernas opera a partir de motores de indução trifásicos que podem, com o uso, desenvolver falhas. Estas falhas podem causar paradas da máquina e ou diminuição do nível de eficiência do processo produtivo. Quando um motor desenvolve uma falha ele apresenta indícios de defeitos de várias formas: mudanças nos sinais de vibrações, variação na temperatura, ruídos e alteração no campo eletromagnético. Conhecida como Análise da Assinatura da Corrente do Motor, esta técnica possibilita a detecção de falhas de origem mecânicas e elétrica em motores de indução trifásicos com rotor tipo gaiola. Esta técnica é usada na ArcelorMittal Tubarão para analisar e acompanhar a tendência de barras quebradas do rotor do motor. Na ArcelorMittal Tubarão são monitorados 450 motores com tensão de 13.200 V, 3.300 V e 440 V e potência acima de 55 KW. Neste trabalho será mostrado o resultado da aplicação desta técnica, durante os últimos dois anos, bem como os casos de barras quebradas detectados, as características das falhas, os tipos de cargas acionadas pelos motores em cada falha encontrada e a abrangência das falhas nos processos produtivos.

**Palavras-chave:** Motores elétricos; Barras quebradas; Espectro de corrente.

## TECHNICAL APPLICATION OF CURRENT ANALYSIS TO DETECT BROKEN BARS IN TREE-PHASE INDUCTION MOTORS AT ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

Most modern machinery operates from three-phase induction motors that, in time, can develop faults. These faults can cause the machine to stop working or decrease its efficiency level in the productive process. When a motor suffers a fault it generates indication of defects in several ways: changing in vibrating signals, temperature variations, noises, and electromagnetic field alteration. Known as Motor Current Signature Analysis, this technique allows fault detection with mechanical and electrical origin in squirrel-cage three-phase induction motors. This technique is used within ArcelorMittal Tubarão to analyze and follow the motor's rotor broken bar tendency. At ArcelorMittal Tubarão, 450 motors are monitored, at 13200, 3300 and 440V and with power rating exceeding 55 KW. This paper will show the results of applying this technique during the last 2 years, as well as the several types of broken bars detected, fault characteristics, the type of load it operates in each fault encountered, and the fault range caused in the productive process.

**Key words:** Electric motors; Broken bars; Current spectrum.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 30º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 24º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 19 a 21 de agosto de 2009, São Paulo, SP

<sup>2</sup> Engenheiro electricista.

<sup>3</sup> Técnico em electricidade.

<sup>4</sup> Engenheiro electricista.

<sup>5</sup> Técnico de manutenção elétrica.

# 1 INTRODUÇÃO

Os motores são o centro da maioria dos processos de produção. Por isso essas máquinas merecem preocupações adicionais para se aumentar a confiabilidade do processo produtivo. Assim, muitas técnicas têm sido desenvolvidas com o propósito de se monitorar o comportamento e o desempenho do motor.

Entende-se por monitoramento da condição de máquinas elétricas o processo contínuo de avaliação da saúde do equipamento durante toda a sua vida. A principal função de sistema de monitoramento preditivo é reconhecer o desenvolvimento de falhas ainda em um estado inicial. Quanto mais prematura for a detecção da falha, mais fácil para o departamento de manutenção agendar uma parada programada para a correção do problema.

O processo de monitoração contínua da condição de máquinas elétricas vitais para o processo de produção traz benefícios significantes para a empresa. Os principais benefícios são: maior eficiência do processo produtivo, redução das perdas por paradas não-programadas, aumento da vida útil do equipamento, e criação de um histórico de falhas.

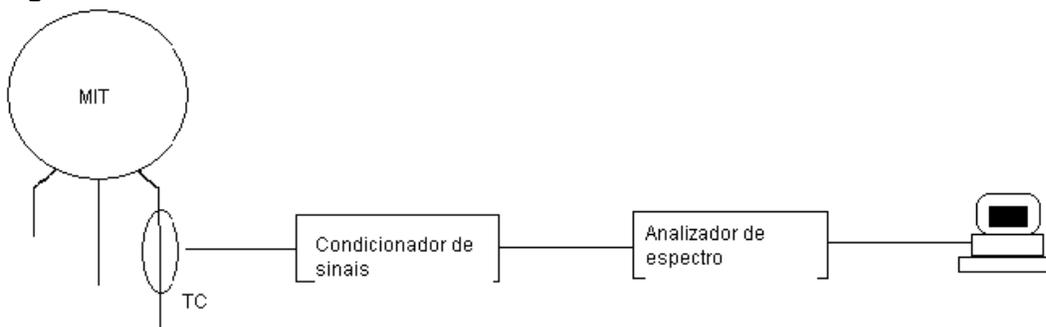
## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 A Técnica da Assinatura do Espectro da Corrente (MCSA)

A MCSA é a técnica usada para analisar e acompanhar a tendência de sistemas energizados dinâmicos. A análise apropriada dos resultados da aplicação da teoria auxiliará a equipe de manutenção preditiva da planta na identificação de:

- problemas no enrolamento do estator;
- problemas rotóricos;
- problemas no acoplamento;
- problemas na carga acoplada;
- eficiência e carregamento do sistema; e
- problemas no rolamento.

Esta técnica usa o motor de indução como um transdutor, permitindo que o usuário avalie a condição elétrica e mecânica a partir do painel de alimentação e consiste basicamente na monitoração de uma das três fases da corrente de alimentação do motor.<sup>(1)</sup> Um sistema simples e eficiente para implantação da técnica é apresentada na Figura 1.



**Figura 1.** Sistema básico para análise espectral da corrente.

Assim, o sinal de corrente de uma das fases do motor é analisado para produzir o espectro de corrente, normalmente referenciado como assinatura da corrente do motor. O objetivo é obter tal assinatura para se identificar a magnitude e frequência de cada componente individual que constitui o sinal de corrente do motor. Isso permite que padrões na assinatura da corrente sejam identificados para diferenciar motores saudáveis de motores em falhas e ainda detectar em que parte da máquina a falha deve ocorrer.

No monitoramento realizado nas unidades de produção da ArcelorMittal Tubarão, são acompanhados, apenas, os parâmetros de indicadores de barras quebradas nos rotores dos motores.

## **2.2 Características dos Motores**

No universo da Arcelor Mittal Tubarão são monitorados, através da análise do espectro de corrente, aproximadamente, 450 motores elétricos de indução trifásicos com rotor gaiola.

Os níveis de tensão são de 13,2 kv, 3.3 kv e de 440 v com potencia acima de 55 kw, inclusive.

## **2.3 Tipo de Carga Acionada**

A manutenção preditiva através de espectro de corrente é aplicável a motores que acionam cargas que mantêm exigência de torque e rotação constantes, de forma que o motor funcione com corrente e frequência constantes, num intervalo de tempo mínimo de 1 minuto, viabilizando a coleta do sinal de corrente.

A técnica é aplicável a motores que estejam operando com no mínimo 50% de sua potência nominal, o que equivale tipicamente ao motor estar operando com 55 % de sua corrente nominal.

A seguir estão listadas as cargas típicas que podem ser acionadas pelos motores possíveis de serem inspecionados através do registro do espectro de corrente, para detecção de barras quebradas:

- agitadores centrífugos;
- bombas de fluidos;
- compressores;
- exaustores; e
- ventiladores.

As cargas listadas abaixo, não devem ter seus respectivos motores de acionamentos inspecionados, pois são bastante variáveis:

- bobinadeira e desbobinadeiras;
- correias ou esteiras transportadoras;
- máquinas ferramentas;
- moinhos;
- movimentos de Pontes ou pórticos rolantes (translação, içamento, abre / fecha; e
- caçamba.

## 2.4 Tipo de Fonte/Acionamento do Motor

A técnica de espectro de corrente é aplicável a motores que possuam os sistemas de acionamentos definidos na Tabela 1.

**Tabela 1** – Tipos de fontes/acionamentos

Tipo de alimentação	Comentários
Fonte senoidal	Sem restrição
Soft-starter	Com chaveamento (by-pass) para fonte senoidal após a partida
Inversor de frequência	Com frequência constante durante o tempo necessário para coleta do sinal de corrente

## 2.5 Identificação de Barras Quebradas

A detecção de barras quebradas ou trincadas através do espectro da corrente do estator é feita observando-se duas componentes do espectro que se localizam próximas e em torno da componente fundamental.

Este tipo de falha ocorre normalmente na presença de esforços térmicos e mecânicos, cargas pulsantes, e imperfeições no processo de manufatura da gaiola. A quebra de barras não leva o motor imediatamente à falha, ou seja, a máquina pode continuar funcionando mesmo com a existência de barras quebradas ou trincadas. Contudo, efeitos secundários consideráveis podem ocorrer como, por exemplo, as barras quebradas atingirem o estator.

A quebra de barras faz com que apareçam no espectro de corrente dois picos igualmente afastados de  $2.f.s$  da componente fundamental, onde  $f$  é a frequência da fonte e  $s$  é o escorregamento da máquina em pu. A componente da esquerda ( $f-2fs$ ) é resultado direto da falha, enquanto a componente da direita ( $f+2fs$ ) é resultado do ripple de velocidade.

Desta forma, pode-se afirmar que a quebra de barras resulta no aparecimento de componentes no espectro da corrente do estator nas frequências dadas por:

$$fbq = f.(1+k.2.s)$$

Onde:

$f$  é a frequência da fonte em Hz

$s$  é o escorregamento da máquina em pu

$k = 1, 2, 3, \dots$

Um ponto de fundamental importância é a tomada de decisão após o diagnóstico de falha. Vários fatores devem ser levados em consideração, dentre eles:

- severidade da falha;
- importância estratégica do conjunto;
- projeto do rotor;
- potencial da falha secundária, ou seja, a falha que ocorrerá em função da quebra de barras; e
- segurança.

## 2.6 Periodicidade dos Registros

O período de inspeção varia de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** - Critérios orientativos para a determinação dos períodos das inspeções

Tensão do motor	Característica	Periodicidade
Alta Tensão	Carga de regime contínuo com até 1 partida do motor por mês	8 meses
	Carga de regime contínuo com número de partidas do motor entre 1 e 3 por mês	6 meses
	Carga de regime contínuo com 4 ou mais partidas do motor por mês	3 meses
Baixa Tensão	Carga de regime contínuo com até 3 partidas do motor por semana	12 meses
	Carga de regime contínuo com 4 ou mais partidas do motor por semana	8 meses

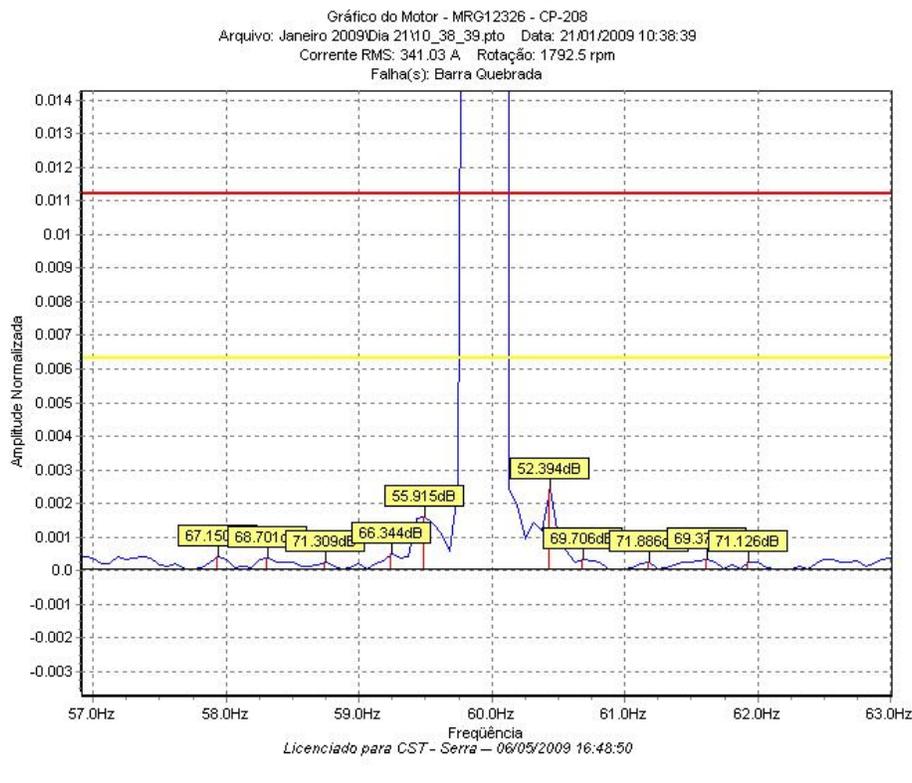
## 2.7 Critérios de Avaliação e Determinação de Diagnósticos

Para avaliar os resultados das medições, foram adotados os limites de amplitude já conhecidos de algumas literaturas.<sup>(1)</sup> Conforme mostrados na Tabela 3.

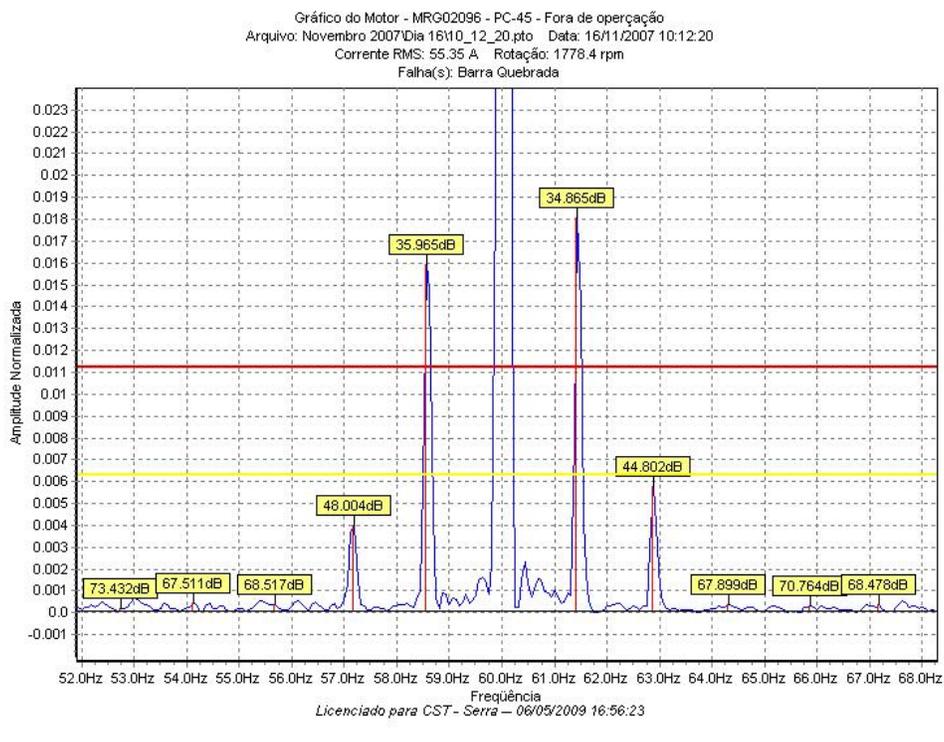
**Tabela 3** – Limites de amplitudes com os respectivos diagnósticos

Amplitude das Bandas Laterais em Relação à Fundamental	Condição da gaiola do rotor	Ação recomendada
De 54 a 60 dB	Excelente	Nenhuma.
De 48 a 54 dB	Bom	Nenhuma.
De 42 a 48 dB	Condição duvidosa	Continuar inspeção observando curva de tendência.
De 36 a 42 dB	Há barras trincadas ou pontos de alta resistência elétrica na gaiola do rotor	Continuar inspeção com periodicidade reduzida observando curva de tendência. Fazer análise espectral de vibração para confirmar origem do problema.
De 30 a 36 dB	Muitos pontos de alta resistência elétrica ou barras quebradas	Enviar o motor para inspeção / manutenção em oficina assim que possível.
Menor que 30 dB	Danos severos na gaiola do rotor	Enviar o motor para inspeção / manutenção em oficina imediatamente

A seguir serão apresentados os padrões espectrais de uma condição normal de funcionamento e de uma falha referente a barras quebradas.



**Figura 2.** Gráfico característico de uma condição normal de funcionamento.



**Figura 3.** Gráfico característico de uma condição de barra quebrada.

## 2.8 Falhas Detectadas

Após, aproximadamente 2 anos, da implantação desta técnica nas unidades de produção da ArcelorMittal Tubarão, podemos destacar alguns casos de barras quebradas em rotor. ArcelorMittal Tubarão.<sup>(2)</sup>

### 1° Caso

Equipamento: Exaustor de gás de Coqueria.

Dados do Motor

Potencia: 780 KW.

Tensão: 3300 V.

Abrangência no processo: Equipamento responsável pelo succionamento do gás gerado no interior dos fornos da Coqueria (COG), durante a queima do carvão e envio do gás para o gasômetro. Em caso de parada acidental pode provocar interferências na produção e emissão ambiental.

Total de barras quebradas: 9.

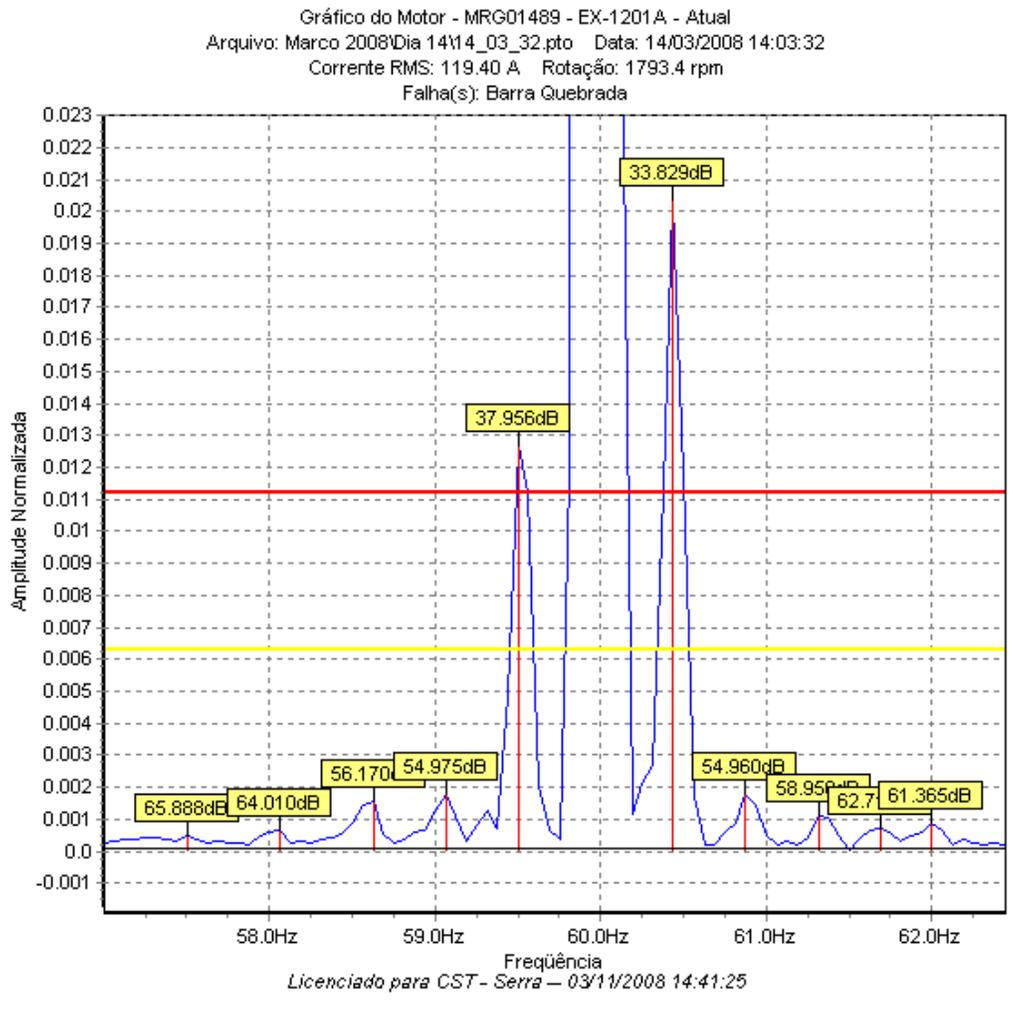


Figura 4. Gráfico da falha.



**Figura 5** – Fotografia das barras quebradas.



**Figura 6** – Fotografia das barras quebradas.

Gráfico do Motor - MRC01489 - EX-1201A - Atual  
Arquivo: Outubro 2008\Dia 28\15\_40\_17.pto Data: 28/10/2008 15:40:17  
Corrente RMS: 106.96 A Rotação: 1785.0 rpm  
Falha(s): Barra Quebrada

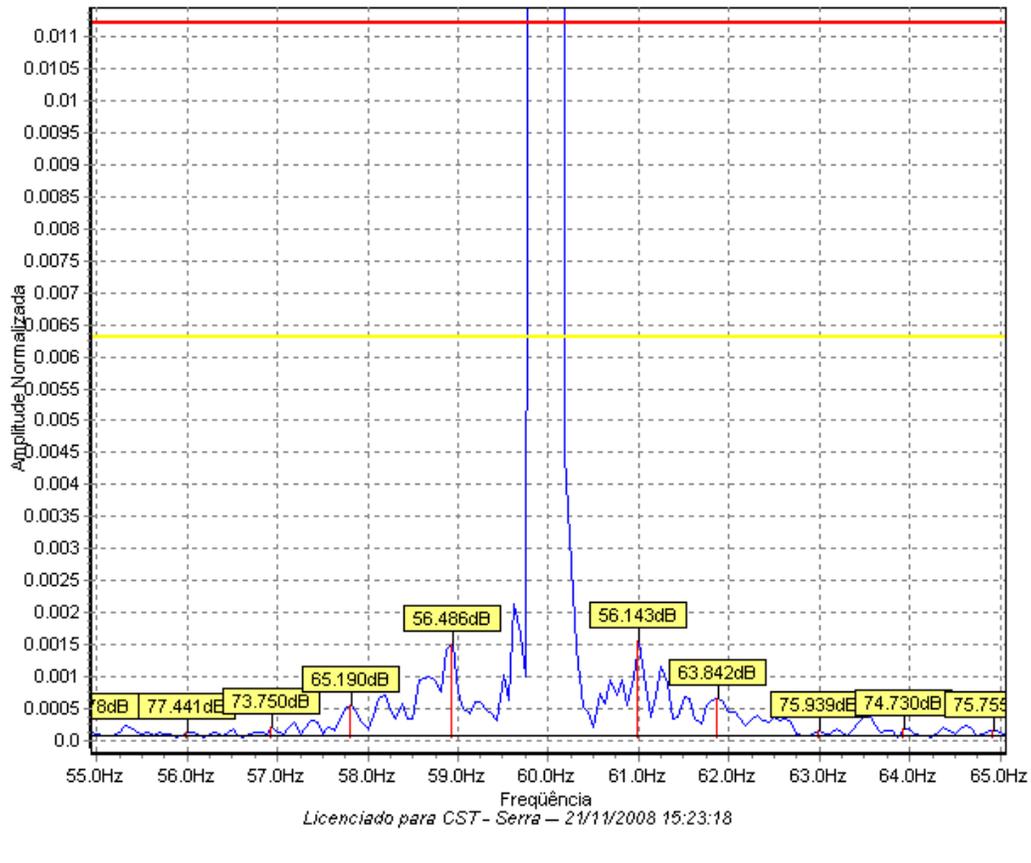


Figura 7 - Gráfico registrado após o conserto das barras quebradas.

## 2º Caso

Equipamento: Exaustor do despoeiramento dos silos e correias de carregamento dos convertedores da Aciaria.

Dados do Motor

Potencia: 200 KW.

Tensão: 3300 V.

Abrangência no processo: Equipamento responsável pelo succionamento das partículas sólidas provenientes do movimento dos materiais nas correias e silos durante o carregamento dos convertedores da aciaria. Em caso de parada acidental, provoca emissão ambiental.

Total de barras quebradas: 8.

Gráfico do Motor - MRG04026 - EF21  
Arquivo: Julho 2008/Dia 7/14\_22\_14.pto Data: 07/07/2008 14:22:14  
Corrente RMS: 35.02 A Rotação: 1785.0 rpm  
Falha(s): Barra Quebrada

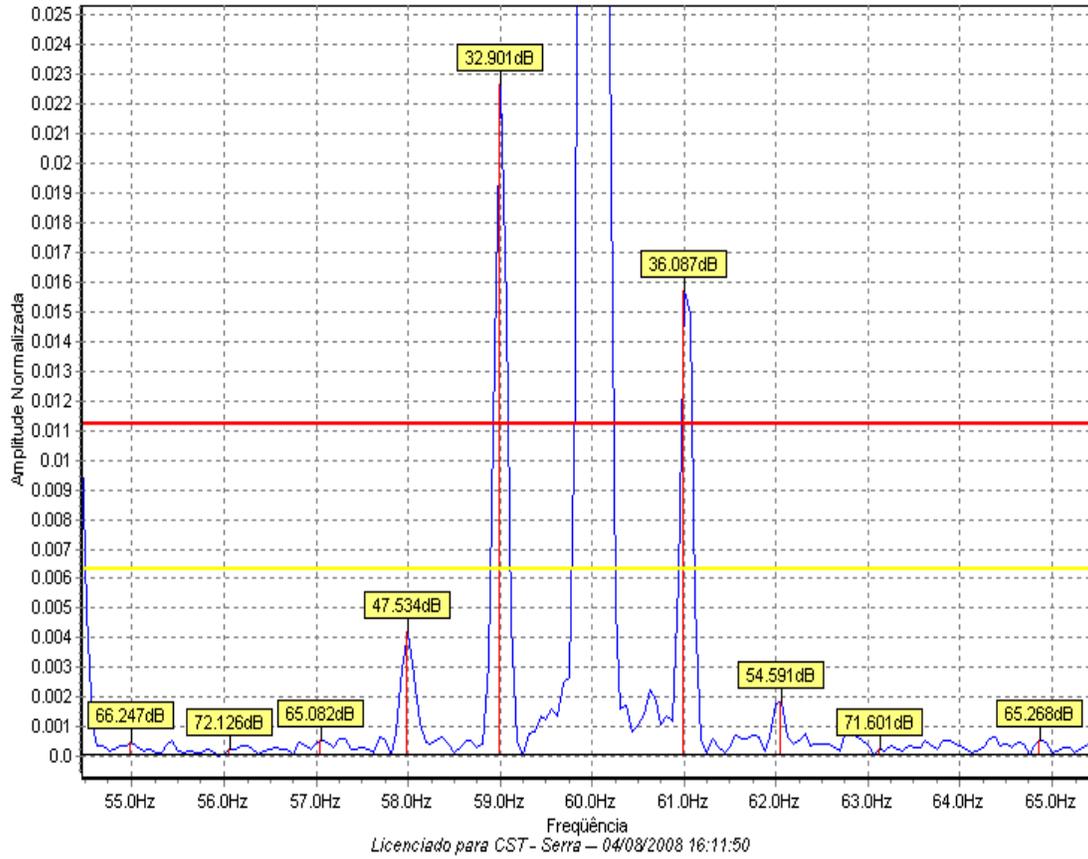


Figura 8 – Gráfico da falha.



Figura 9 – Fotografia das barras quebradas.



Figura 10 – Fotografia das barras quebradas.

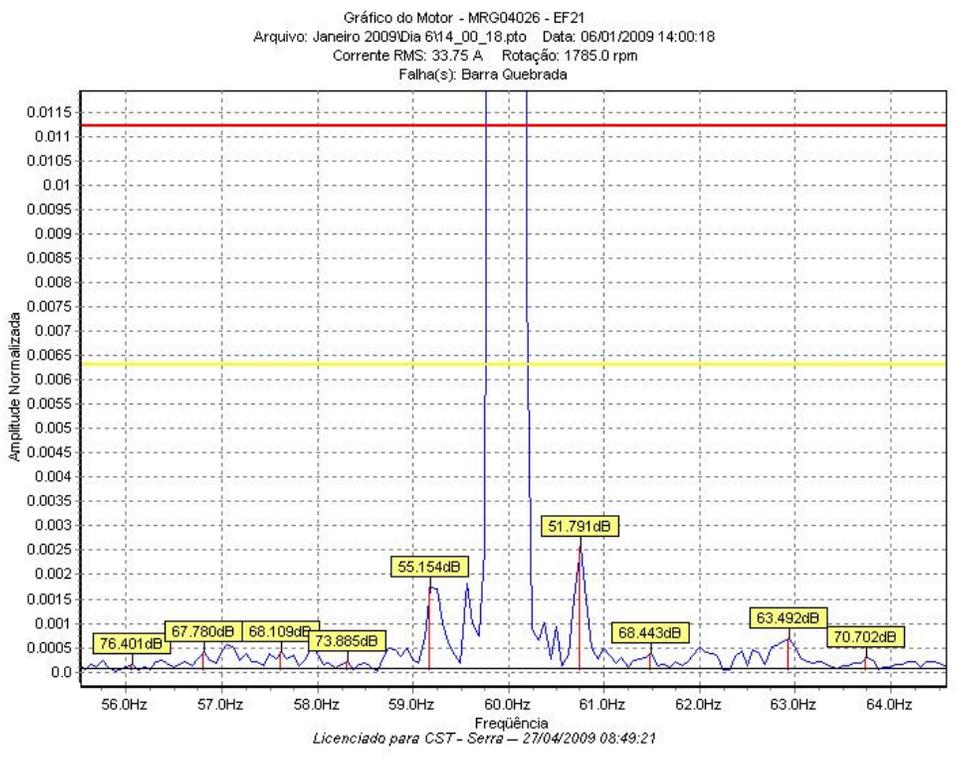


Figura 11 - Gráfico registrado após o conserto das barras quebradas.

### 3 CONCLUSÃO

A técnica de análise de espectro de corrente para detectar barras quebradas nos rotores tipo gaiola dos motores de indução, apesar do pouco tempo de uso, na ArcelorMittal Tubarão, tem demonstrada ser bastante eficiente e assertiva tendo em vista que todas as suspeitas de barras quebradas, foram confirmadas com a abertura dos motores em oficina.

O diagnóstico para diferenciar motores “saudáveis” de motores em falha é algo extremamente complicado, ou seja, a definição de parar ou não o processo produtivo em virtude das indicações do espectro de corrente é sempre difícil e exige experiência e conhecimento do processo.<sup>(3)</sup> Nessa hora, torna-se importante o conhecimento do especialista e de um histórico do comportamento do conjunto (motor, sistema de transmissão e carga)

### REFERENCIAS

- 1 BONALDI, Erik Leonardo. **Análise e identificação de falhas em motores de indução trifásicos**. Revista Manutenção. ed. 124. Rio de Janeiro RJ 2008.
- 2 **Manutenção preditiva em motores elétricos ca, rotor gaiola, por análise de espectro de corrente**. Divisão de engenharia elétrica e eletrônica da ArcelorMittal Tubarão. Serra ES 2008.
- 3 OLIVEIRA, Levy Ely de Lacerda. **Manutenção preditiva de motores de indução trifásicos**. PS Soluções. Itajubá MG 2007.