



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Investigação e Diagnóstico de Problemas de Operação em Sistema Industrial: O Caso da Máquina de Corte a Laser

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| <b>Nelson C. de Jesus</b> | <b>Edson Luis Batista</b> |
| <b>AES Sul</b>            | <b>AES Sul</b>            |
| nelson.jesus@aes.com      | edson.batista@aes.com     |

#### Palavras-chave

Disfunções  
Monitoramento  
Qualidade de Energia  
Transitórios

#### Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar os principais resultados obtidos durante o monitoramento em um consumidor industrial, por meio da utilização de equipamentos específicos de qualidade de energia. Os problemas eram decorrentes de inúmeras disfunções em uma máquina de corte a laser, fundamental à qualidade e produtividade do processo industrial. Serão apresentados os comportamentos das grandezas que definem a qualidade de energia, bem como os passos que conduziram a investigação dos problemas de operação da carga sensível. Sendo assim, este trabalho trata da análise de problemas referentes a disfunções em uma máquina de corte a laser.

#### 1. Introdução

A complexidade atual dos sistemas elétricos, aliada à proliferação de cargas sensíveis e/ou perturbadoras, bem como as novas exigências quanto ao fornecimento de energia elétrica, implicam em mudanças significativas no relacionamento entre empresas concessionárias e seus consumidores. Neste sentido, a área de qualidade de energia se reveste de grande importância quanto à operação e desempenho dos sistemas elétricos [1]. Inúmeros são os casos relatados de problemas na qualidade de energia, motivados pelos desenvolvimentos de modernos sistemas eletro-eletrônicos e níveis de sensibilidade e compatibilidade, principalmente quanto à natureza das cargas elétricas industriais. Em muitas situações as soluções podem ser de fácil implementação e custos reduzidos, com simples reajustes internos. Mesmo nestes casos, as alternativas adequadas devem ser levantadas a partir de um conhecimento razoável dos problemas e operação do sistema como um todo. Para a realização de diagnósticos de problemas de qualidade de energia devem ser estabelecidos procedimentos durante a fase de monitoramento, além da adoção de instrumentação adequada. Para determinados casos, a modelagem e simulação do sistema podem auxiliar no processo de investigação, cujo objetivo principal é determinar a origem das perturbações, para posterior proposição de recomendações visando à solução dos problemas de operação. Este trabalho tem por objetivo apresentar os principais resultados obtidos durante o monitoramento em um consumidor industrial, por meio da utilização de equipamentos específicos de qualidade de energia (PP1 e P4300 da marca Dranetz/BMI) [2]. Os

problemas eram decorrentes de inúmeras disfunções em uma máquina de corte a laser utilizada para fabricação de equipamentos e máquinas agrícolas [3]. Durante a investigação adotou-se procedimentos pré-estabelecidos, por meio da instalação inicial no ponto de acoplamento comum, relativo ao fornecimento por parte da concessionária. Obviamente, a realização de medições na carga sensível torna-se prioritária para levantamento das prováveis causas e correlações aos distúrbios eletromagnéticos que afetam a qualidade de energia, vista a partir dos terminais do equipamento. Medições simultâneas na entrada e na carga podem esclarecer ou delimitar o ponto de ocorrência da incompatibilidade entre o equipamento e o sistema elétrico. Os valores de ajuste dos equipamentos de medição devem ser criteriosamente selecionados com o objetivo de averiguar corretamente as possíveis perturbações. Neste trabalho descreve-se os principais eventos referentes à avaliação das disfunções em uma máquina de corte a laser, cuja reclamação do consumidor eram as inúmeras paradas do processo produtivo, em decorrência de disfunção de um CLP interno ao controle da máquina. Na avaliação, o fabricante da máquina a laser com problemas se negou ao mínimo em participar das discussões técnicas. No estudo específico, também foram comparadas medições em uma máquina similar (de outro fabricante e mais recente), mas que não apresentava interrupções, apesar de ser atendida pelo mesmo sistema de baixa tensão. Um fato importante a destacar neste estudo foi a verificação de algumas inconsistências no que se refere às manutenções preventivas. Neste caso, foram monitorados seis eventos relacionados com a disfunção da máquina a laser, sem, entretanto, qualquer registro ou manifestação de perturbações significativas na tensão de alimentação, com indicativo de problemas de origem interna a própria operação da carga. Neste caso particular, efetuaram-se as medições para análise dos problemas resultantes, buscando alternativas e soluções, com a participação efetiva dos agentes envolvidos. Desta forma, apresenta-se o comportamento das tensões e correntes em diversos pontos do sistema, fornecendo subsídios para diagnóstico da origem das perturbações e proposição de recomendações. Na análise do caso, ficou explícita a necessidade de participação, também, dos fabricantes, os quais podem ser determinantes na solução de problemas, principalmente quando de origens internas.

## **2. Descrição do Caso**

A partir de um aumento significativo no número de ocorrências (alarmes) da máquina de corte a laser, efetuou-se o monitoramento das tensões e correntes, no sentido de avaliar as possíveis perturbações na qualidade de energia e, por conseqüência, identificar os eventos responsáveis por disfunções na máquina, levando a interrupção do processo e perda de produtividade.

Conforme registro dos operadores da máquina a laser que apresentava as disfunções, nestes últimos períodos o número de alarmes fora extremamente elevado, sendo que em determinadas datas a máquina praticamente não operou de forma seqüencial, causando imensos prejuízos. Além disso, ressaltou o número de ocorrências significativas durante a retomada do processo (Restart), imediatamente após a sua energização (Stand-by). Um outro fator a destacar é que existe um equipamento similar nas mesmas condições de alimentação e instalação, o qual, não apresenta os mesmos problemas. De qualquer modo, esta nova máquina (Laser 2) só foi instalada recentemente (cerca de 3 meses) e os eventos resultantes de perturbações na máquina Laser 1 aumentaram a sua freqüência de ocorrências por volta de dois anos atrás, portanto, antes da instalação da segunda máquina de corte a laser, segundo informações da referida empresa. Durante a análise em campo, verificou-se a utilização de terras isolados, o que contrapõe o código elétrico até mesmo na questão básica de segurança. De qualquer modo, recomendou-se uma reavaliação das condições das instalações das máquinas sensíveis e revisão do sistema de aterramento. Conforme diversos casos estudados na literatura técnica sob o prisma da qualidade de energia, eventos esporádicos causadores de problemas na qualidade de energia e, de certa forma, de difícil identificação, são relacionados a equívocos e erros de conexões de condutores e sistemas de aterramento. Exemplos práticos são os

terras isolados que causam correntes de circulação em malha (loop ground) e ligações incorretas entre neutro e terra ao longo da instalação. Independente das condições atuais e futuras recomendações de adequação e condicionamento a serem propostos, analisa-se os resultados de diversos monitoramentos, destacando-se as avaliações das tensões e correntes instantâneas e eficazes durante a ocorrência de problemas (alarmes da máquina), vista de seus próprios terminais, avaliando-se, assim, o nível de sensibilidade da máquina quanto ao fornecimento de energia [4],[5],[6].

### 3. Resultados do Monitoramento

#### 3.1 Medição 1 - Máquina de Corte a Laser 1

A seguir, apresentam-se os principais resultados do monitoramento na Subestação de entrada da indústria, a qual é atendida com tensão nominal de fornecimento de 13,8 kV. Os valores RMS das tensões de entrada permaneceram entre 0,93 e 0,98 pu, portanto, ligeiramente inferiores ao valor nominal, conforme mostra a figura 1. Simultaneamente, também são apresentados os dados obtidos junto aos terminais da máquina sensível, no lado de baixa tensão. Sob o enfoque de análise da conformidade da onda de tensão, tem-se o comportamento da distorção harmônica total das tensões de linha, conforme a figura 2, com valores considerados adequados e dentro da faixa e limites normalizados, considerando a respectiva classe de tensão.

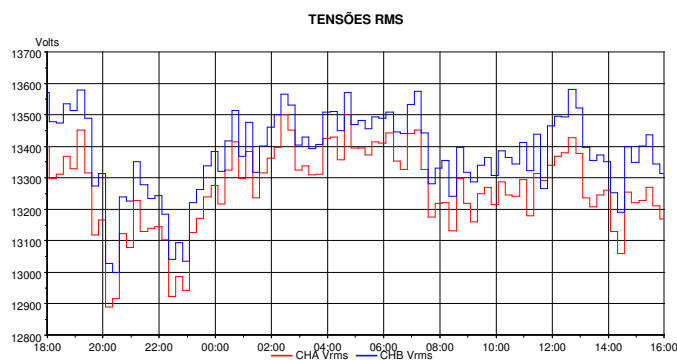


Figura 1 - Tensões RMS de entrada (MT)

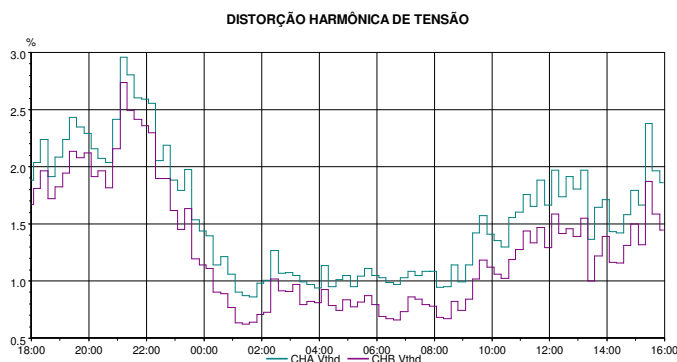


Figura 2 - Distorções harmônicas das tensões (MT)

No intervalo das figuras anteriores, ocorreram dez paradas da máquina a laser, segundo registro dos operadores. Cabe ressaltar, entretanto, nenhuma perturbação significativa foi registrada tanto nas tensões de entrada como na de alimentação da máquina a laser. No lado de baixa tensão, no ponto de conexão da máquina, os valores ficaram na faixa de 96,5 a 103,6% do valor nominal (460/265 V). De qualquer modo, os valores em regime permanente permaneceram dentro de uma faixa considerada normal em termos de operação do sistema e da carga, como mostra a figura 3.

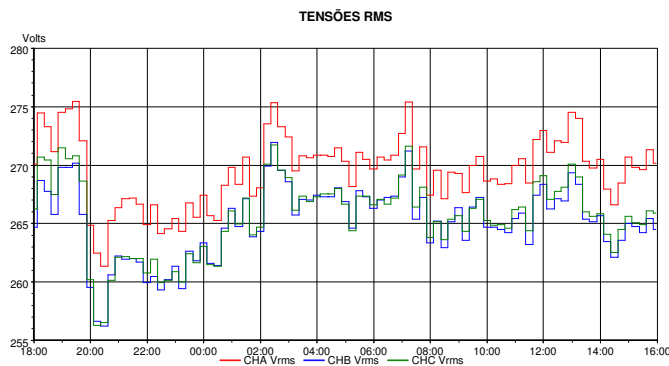


Figura 3 - Tensões RMS na máquina a laser 1 (BT)

Para um melhor detalhamento, apresenta-se, em seguida, detalhes de medições posteriores, incluindo os instantes relativos a interrupção do processo da máquina a laser, eventos estes acompanhados pelas partes durante o monitoramento em campo. A figura 4 mostra a variação da tensão de entrada no ponto de acoplamento comum durante um desses intervalos do monitoramento. Neste caso, o operador da máquina registrou e anotou três alarmes consecutivos no período equivalente. O comportamento das correntes solicitadas pela instalação é apresentado na figura 5.

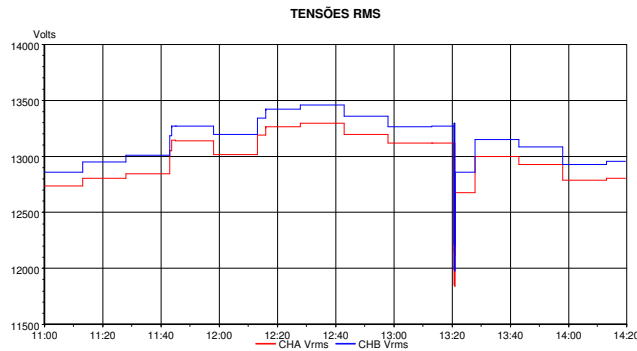


Figura 4 - Tensões RMS de entrada (MT)

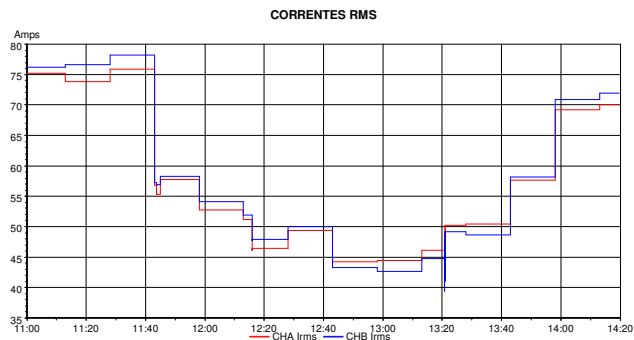


Figura 5 - Correntes RMS de entrada (MT)

Neste caso, não foram aquisitados quaisquer distúrbios nas formas de onda da entrada, mesmo na presença de alarmes, conforme síntese cronológica do operador. Somente após a ocorrência dos alarmes indicados anteriormente (até 13:15 h), verificou-se variações nas tensões do sistema. Estes eventos são relacionados a afundamentos de tensão de curta duração e não tiveram correspondência com as falhas e operação inadequada da máquina a laser. Por questões comparativas, apresentam-se o comportamento das tensões RMS na figura 6 e da corrente em uma das fases na figura 7, no ponto de alimentação da máquina a laser, durante o mesmo intervalo dos resultados apresentados anteriormente para as grandezas vistas da Subestação.

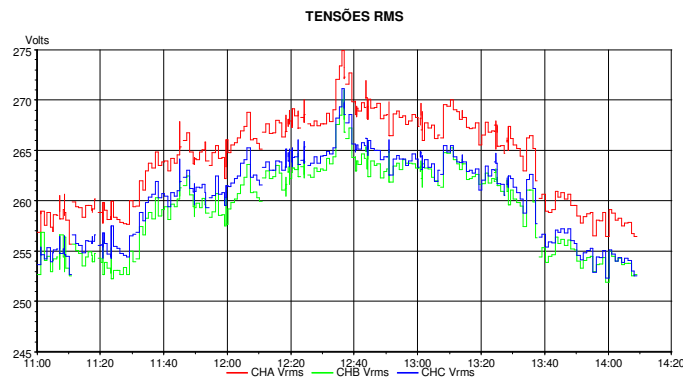


Figura 6 - Tensões RMS na máquina a laser 1 (BT)

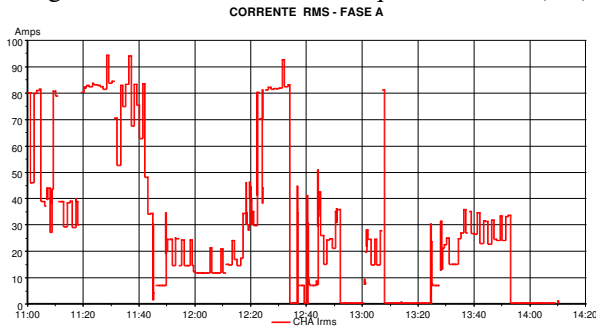


Figura 7 - Correntes RMS na máquina a laser 1 (BT)

A seguir, tem-se uma seqüência da condição normal de operação e transição para o modo Stand-by e subsequente reenergização do sistema para um dos eventos relacionados aos problemas de disfunção. As figuras 8 e 9, mostram, respectivamente, as tensões e correntes durante a operação normal em regime. Já a figura 10 apresenta a corrente típica do sistema após o alarme na condição de operação a vazio, conforme se verifica pela análise comparativa entre os respectivos valores das formas de onda. Após estes eventos, o sistema foi recomposto com a nova energização do controle da máquina a laser e entrada em operação, registrada pelas tensões e correntes transitórias das figuras 11 e 12.

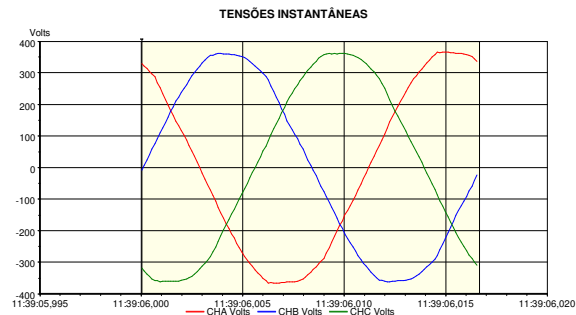


Figura 8 - Tensões em operação sob carga

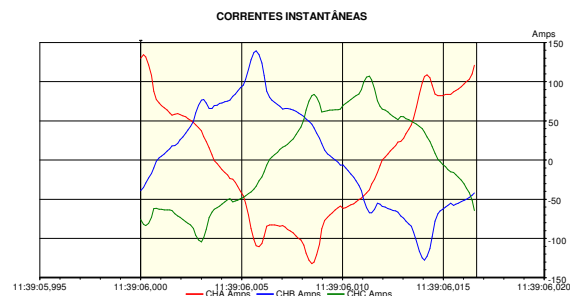


Figura 9 - Correntes em operação sob carga

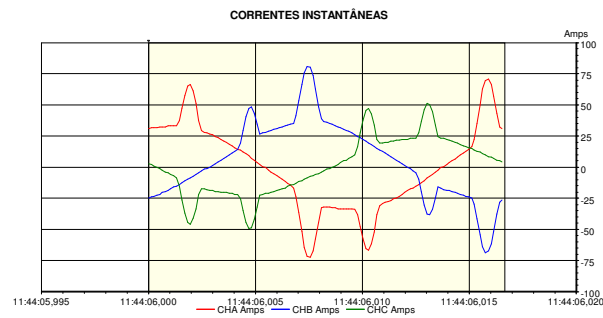


Figura 10 - Correntes após o alarme (operação a vazio)

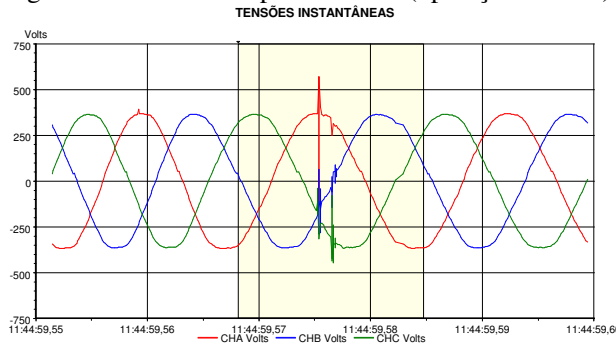


Figura 11 - Tensões na energização após alarme

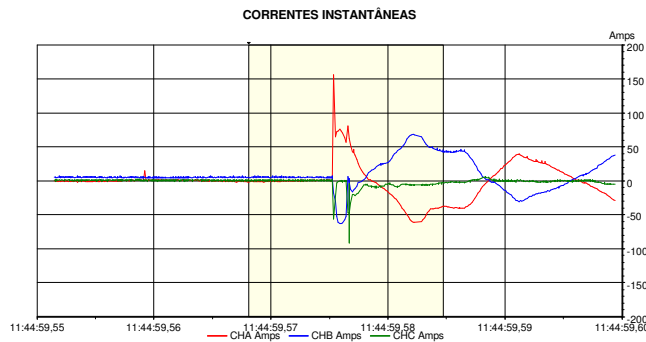


Figura 12 - Correntes na energização após alarme

Na seqüência do monitoramento, foram registrados seis eventos relacionados a disfunções na máquina sensível, sendo que para todas estes instantes, não se observaram quaisquer distúrbios nas tensões de alimentação coincidentes com as paradas do processo. Entretanto, como verificado novamente, não há qualquer tipo de correlação das falhas com perturbações decorrente da fonte de suprimento. Os dados a seguir foram registrados na quinta e sexta seqüência das interrupções verificadas no período de uma semana de monitoramento. No primeiro evento relatado, o alarme ocorreu próximo às 13:15 h. A figura 13 ilustra o comportamento dos valores eficazes das tensões, enquanto a figura 14 mostra o comportamento da corrente da fase A para o mesmo período, indicando uma disfunção com a interrupção da operação normal da máquina de corte a laser.

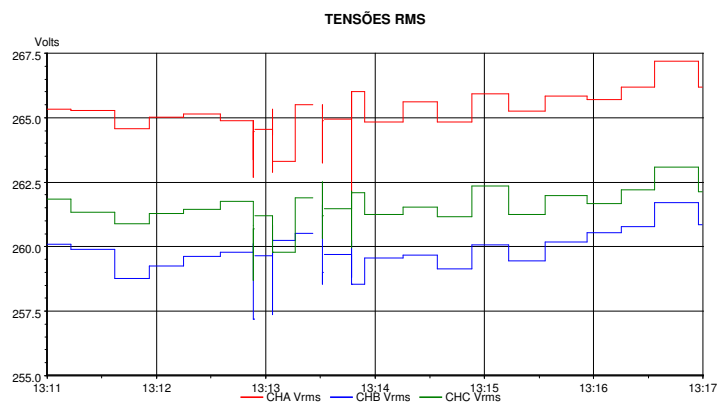


Figura 13 - Tensões RMS com interrupção do processo

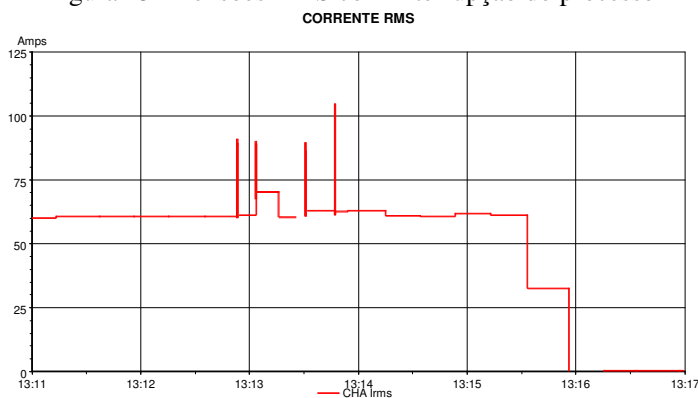


Figura 14 - Corrente da fase A com interrupção do processo

As figuras 15 e 16 mostram as formas de onda das correntes antes e após o alarme da máquina. Salienta-se que as tensões não apresentaram variações durante a falha. As figuras posteriores mostram de maneira análoga o mesmo comportamento para a sexta disfunção na operação, ocorrida às 14:11 h. Novamente, não houve correspondência entre perturbações nas tensões de alimentação e o instante de indicação do alarme, aliás, no referido período não foram observados quaisquer tipos de transitórios, indicando falha de origem interna.

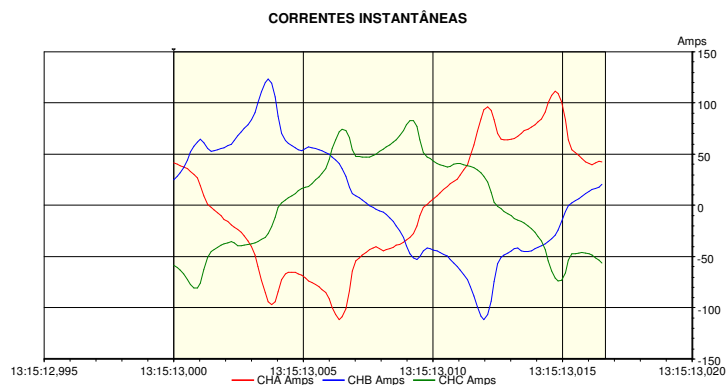


Figura 15 - Correntes em operação sob carga

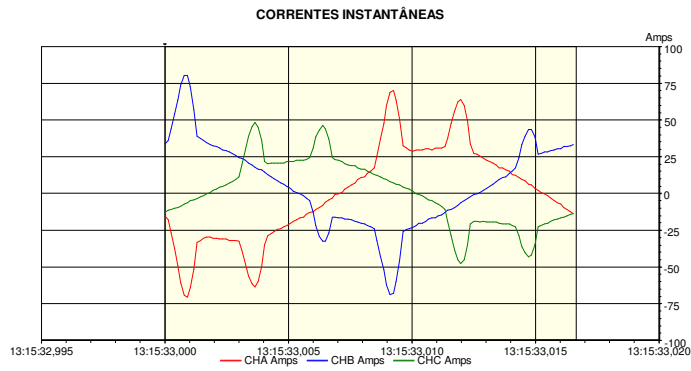


Figura 16 - Correntes após o alarme (operação a vazio)

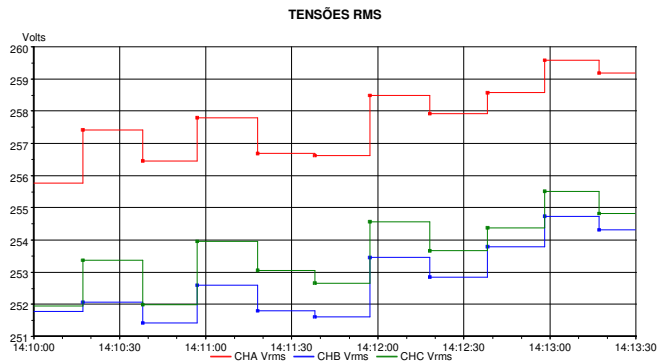


Figura 17 - Tensões RMS com interrupção do processo

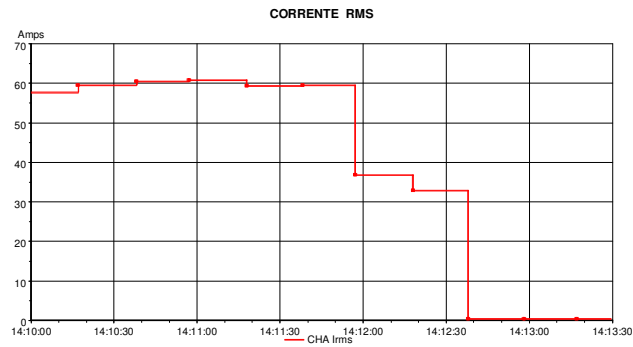


Figura 18 - Corrente da fase A com interrupção do processo

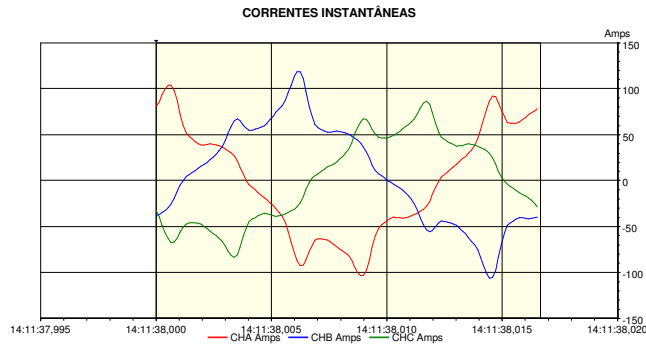


Figura 19 - Correntes em operação sob carga



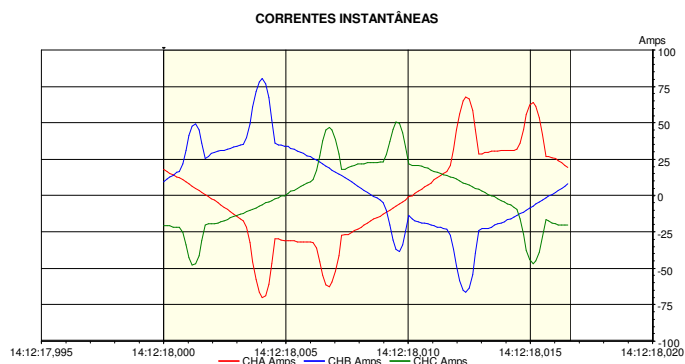


Figura 20 - Correntes após o alarme (operação a vazio)

### 3.2 Medição 2 - Máquina de Corte a Laser 2

Os resultados deste item referem-se ao monitoramento da máquina a laser 2, de fabricação distinta da máquina 1, porém, com o mesmo princípio de funcionamento e características operacionais, sendo alimentadas pelo secundário do mesmo transformador. As figuras 21 e 22 mostram as tensões e correntes registradas na medição na máquina de corte a laser 2.

Apesar do pequeno período das medições, ressalta-se que, durante toda a fase de análise e acompanhamento em campo, este equipamento não apresentou qualquer problema de operação, enquanto na máquina ao lado, foram vários os desligamentos.

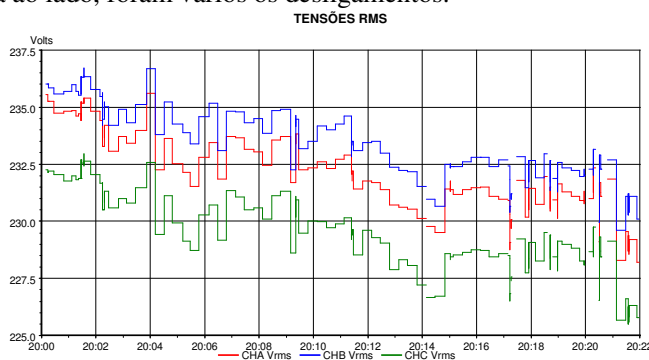


Figura 21 - Tensões RMS na máquina a laser 2

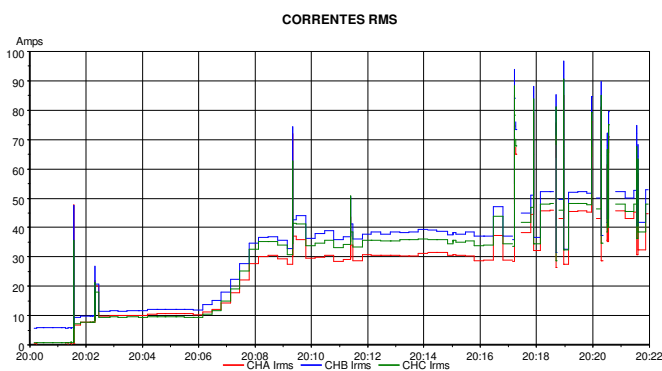


Figura 22 - Correntes RMS na máquina a laser 2

Um ponto importante a destacar é que, neste caso, os transitórios são até mais severos do que aqueles registrados na máquina 1 sob condições normais de operação. As figuras 23 e 24 mostram as formas de onda das tensões e correntes durante o período de energização e, na sequência, transitórios de operação, conforme as figuras 25 e 26. Em seguida, tem-se as formas de onda típicas para algumas variações de carregamento, sob operação adequada e ininterrupta desta máquina, como mostrado nas figuras 27 e 28.

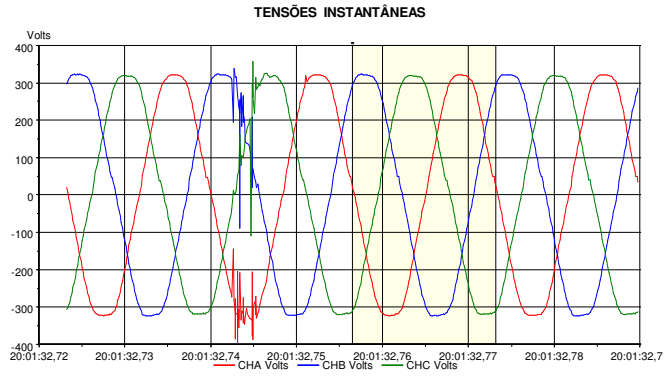


Figura 23 - Tensões na energização

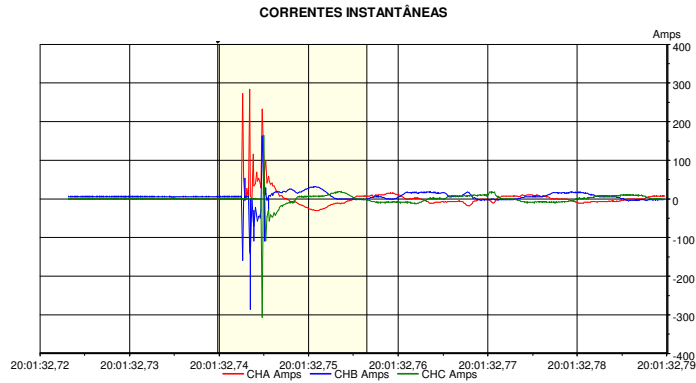


Figura 24 - Correntes de energização

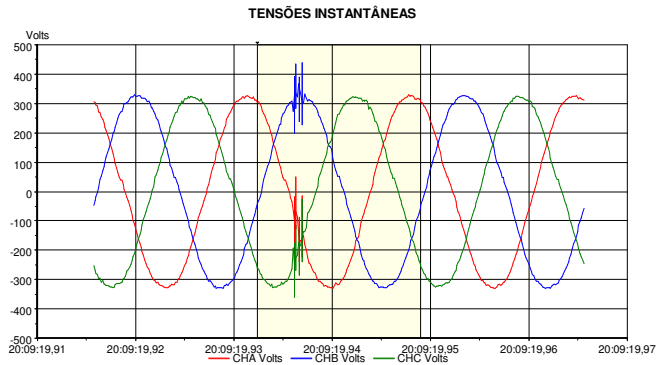


Figura 25 - Tensões transitórias

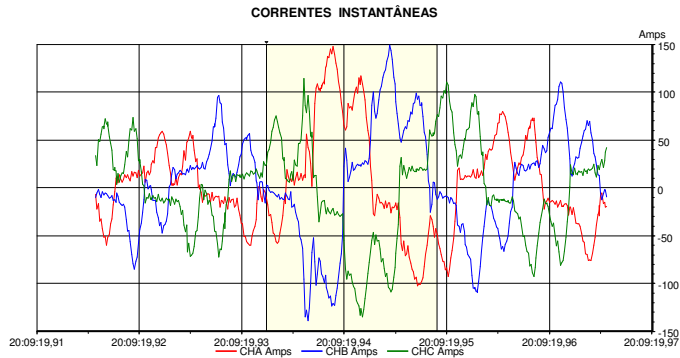


Figura 26 - Correntes transitórias

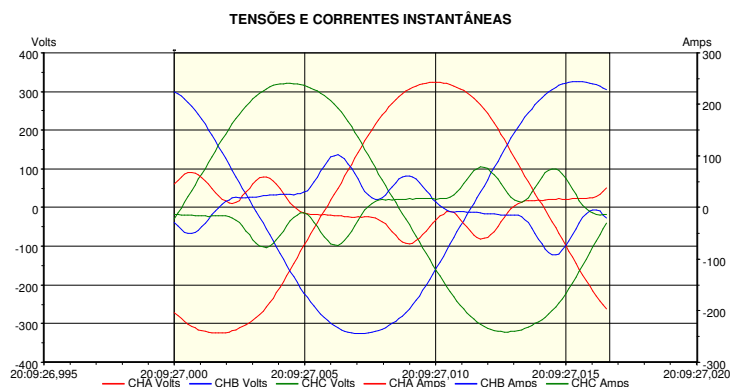


Figura 27 - Tensões e correntes em regime

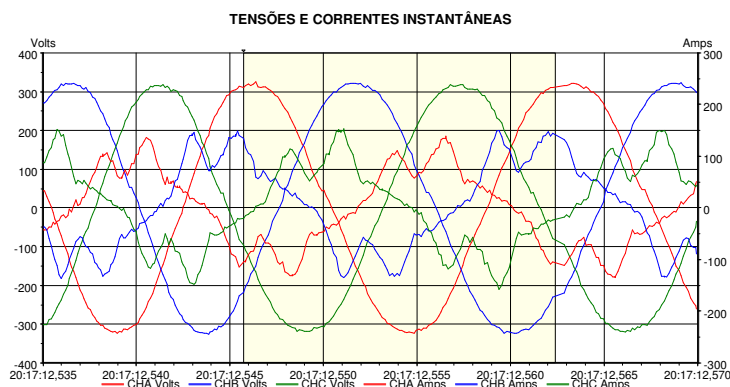


Figura 28 - Tensões e correntes em regime

#### 4. Conclusões

Este trabalho apresentou os principais resultados do monitoramento das tensões e correntes no sistema e nas máquinas de corte a laser, objetivando correlacionar possíveis eventos transitórios nas tensões do sistema quando da ocorrência de alarmes e conseqüente interrupção do processo produtivo da indústria. Conforme informações obtidas, os alarmes em sua grande maioria estavam relacionados a erros de comunicação entre os módulos de comando, controle e acionamento do sistema a laser, tomando-se como base a perda de informações num intervalo máximo de 10 ms.

Os resultados do monitoramento apresentados, quando do acompanhamento em campo da operação da máquina, foram analisados sob o enfoque de identificação de quais tipos de perturbações e distúrbios que poderiam originar as referidas disfunções. Entretanto, considerando os seis eventos (alarmes) avaliados, em todos estes não se obteve correspondência entre alterações significativas nas formas de onda das tensões e correntes e os instantes indicados como operação inadequada.

Quanto ao aspecto de transitórios, os mais significativos ocorrem em função da própria operação do equipamento (energização, laser, ressonador e corte). Sendo assim, a máquina a laser, apesar de sua intrínseca sensibilidade, apresenta disfunções sem quaisquer alterações nas tensões de alimentação, o que implica imediatamente na possibilidade de falhas e erros internos ao equipamento. No que se refere às tensões eficazes do sistema, observou-se valores um pouco inferiores aos nominais, mas ainda dentro de uma faixa possível de funcionamento com valores aceitáveis. A inclusão do fato de que existe uma máquina similar operando ao lado e praticamente com o mesmo princípio de funcionamento e condições de instalação sem apresentar qualquer disfunção, induziu o levantamento de questões operacionais internas, incluindo aspectos e necessidade de manutenção preventiva e corretiva, uma vez que futuras recomendações de condicionamento dependem, basicamente, de um diagnóstico preciso e correto da origem dos problemas.

Foram também realizados monitoramentos simultâneos no secundário do transformador geral de alimentação, sendo que não houve registros de propagação por parte do sistema elétrico, uma vez que, até mesmo de seus próprios terminais, não ficou caracterizado que os alarmes e interrupções eram decorrentes de transitórios nas tensões de fornecimento em relação a perda de dados e erros de comunicação, principal fator quanto à sensibilidade da máquina e ocorrência dos referidos alarmes. Os resultados das medições foram essenciais à interpretação correta dos eventos que causavam disfunções no processo industrial. Deste modo, após realização de manutenção detalhada, comprovou-se que a origem dos problemas estava relacionada à operação de uma fonte interna à máquina, responsável pela alimentação do CLP, a qual, quando substituída, eliminou os sérios problemas de disfunções do processo industrial. Neste caso estudado, ficou marcante que as questões de relacionamento entre as partes é fundamental na medida em que o objetivo principal é a obtenção de soluções e adequação da operação das cargas frente a problemas em máquinas sensíveis.

## **5. Referências Bibliográficas**

- [1] R.C. Dugan, M.F. Macgranaghan, H.W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- [2] Dranetz Technologies, Inc. The Dranetz Field Handbook for Power Quality Analysis, Dranetz Technologies, Edison, 1991.
- [3] N.C. de Jesus. Monitoramento da Qualidade de Energia - Registro de Perturbações, Relatório Técnico, LAQUEE, RT LAQUEE-UNIJUÍ, 2003.
- [4] N.C. de Jesus, J.A.M. Neto, L. Piesanti, E.L. Batista. Análise e Investigação de Distúrbios através de Analisadores da Qualidade de Energia, IV Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica – IV SBQEE, Porto Alegre/RS, 2001.
- [5] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard 1159, 1995.
- [6] IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment, IEEE Standard 1100, 1998.