

Análise de Mercado para Desenvolvimento de Produto: Um Exemplo

Aumento da confiabilidade dos fornos eletrônicos a gás através do FMEA

Rafael Arthur (UNIFEI) nortemica@yahoo.com.br
Carlos Eduardo Sanches da Silva (UNIFEI) sanches@unifei.edu.br

Resumo

A utilização de técnicas para análise de confiabilidade de produtos além de ser um elemento importante no aumento da competitividade das empresas, permite a adoção de melhorias nas diversas etapas de um produto. O emprego de dados de campo constitui em uma alternativa bastante atrativa para estimativa de confiabilidade pelo seu baixo custo e sua disponibilidade imediata, impactando positivamente no desenvolvimento de novos produtos e tendo a vantagem das informações terem sido coletadas em condições reais de utilização. Porém, a típica mistura de modos de falha, a escassez de dados e o alto nível de censura podem inviabilizar a utilização desses dados. Este artigo apresenta uma proposta baseada na análise da confiabilidade utilizando um procedimento de coleta de dados e elaboração de um FMEA para aumentar a confiabilidade dos fornos Prática. O texto da proposta foi escrito e organizado segundo a metodologia proposta pelo PMBOK, evidenciadas, passo a passo, com o desenvolvimento do projeto desde sua concepção até seu encerramento.

Palavras chave: Confiabilidade, Dados de Campo, FMEA.

1. Introdução

Máquinas e equipamentos de produção em série possuem como uma das principais características sua disponibilidade para produção, fator intimamente dependente da confiabilidade. Mudanças cada vez mais rápidas e significativas no ambiente competitivo têm exigido das empresas fabricantes destes produtos uma incessante busca por diferenças competitivas dentre eles a garantia, dependente direta da confiabilidade. Essas empresas têm uma resposta para o aumento de sua competitividade basicamente em duas “frentes de ação”: a otimização dos seus processos produtivos e o incremento do seu processo de desenvolvimento de produtos.

Yang (1997) define disponibilidade como o máximo tempo de operação disponível (operando ou pronto para operar), sendo dependente ao conceito de falha (confiabilidade) e ao tempo necessário para manutenção (manutenabilidade).

É neste contexto que a confiabilidade adquire um elevado grau de importância, dado o seu enorme potencial para o aumento de produtividade e melhoria da qualidade dos produtos. A confiabilidade de um produto é fortemente influenciada pelas decisões feitas durante a fase de projeto. Para Fritsh (1996), a importância do estudo de confiabilidade reside no fato de que é durante o tempo de uso do produto pelo cliente que se consolida o trabalho anterior de pesquisa, projeto, desenvolvimento e fabricação. A estimativa adequada do desempenho do produto em campo permite identificar oportunidades de aumento de confiabilidade e qualidade do produto (LAWLESS,1998 *apud* BIASOLI,2003). Para Marconi & Abackerli (2001), o domínio da confiabilidade nos produtos confere à empresa uma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes, que se traduz, na prática, na melhor alocação de custos de garantia e de suporte, inventário de peças de reposição mais adequado e menor custo estendido de seus produtos ao longo do ciclo de vida dos mesmos. Segundo Biasoli

(2003), a falha de um produto no período de garantia implica custos para a empresa, pois esta deve financiar a reposição ou manutenção da peça que falhou, além de perder a credibilidade de seus clientes, o que pode gerar perda de consumidores.

A discussão entre a confiabilidade prevista na fase de desenvolvimento do produto e a confiabilidade real alcançada no campo é grande e antiga. Lafraia (2001) ressalta que a inspeção de qualidade é insuficiente, uma vez que, nesta, apenas se compara o produto a um conjunto de especificações, não se submetendo o mesmo a testes que simulam a real condição de uso. O autor destaca ainda que a principal diferença entre o controle da qualidade e a confiabilidade é que esta está atrelada ao uso do produto ao longo do tempo, ao passo que aquela se detém exclusivamente na verificação da conformidade atual. Por conseguinte, o conceito de qualidade do produto se estende ao longo do ciclo de vida através da confiabilidade (LAFRAIA, 2001).

O objetivo deste trabalho é propor, implantar e avaliar uma sistemática para a análise e aperfeiçoamento da confiabilidade de produtos para pequenas e médias empresas, utilizando um procedimento de coleta e disposição de dados de campo para posterior elaboração e implementação do FMEA. A pesquisa desdobra-se em duas partes, primeiramente se faz uma revisão conceitual sobre confiabilidade, dados de campo, sobre o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e sobre a sistemática proposta, posteriormente descreve-se a pesquisa-ação, ou seja, a empresa objeto de estudo, como a confiabilidade é realizada e a implementação parcial da sistemática proposta, conduzindo as principais conclusões e recomendação para a continuidade da pesquisa.

2. Confiabilidade

Segundo Ireson e Coombs (1988), a mais aceita definição sobre o tema é: “Confiabilidade é a capacidade de um produto desempenhar a sua função sem falhar quando submetido a condições especificadas durante um período de tempo determinado ou número mínimo de ciclos ou eventos”. Para Yang (1997), esta definição implica que há somente dois estados do sistema que são do interesse neste modelo: sucesso e falha. É chamada assim também confiabilidade binária do estado. Até o momento, a maioria dos métodos analíticos na área da confiabilidade foram baseados nesta suposição binária. Yang (1997) define confiabilidade como uma característica expressa pela probabilidade de que o produto realize uma função requerida, durante um certo intervalo de tempo determinado e sob condições de uso também determinada para o qual foi concebido. Normalmente é representada com base em parâmetros médios de números de falhas ou do intervalo de tempo entre falhas. É o número de falhas por unidade de tempo de operação. Na maioria dos casos, a definição binária da confiabilidade é simplificada e não pode caracterizar a habilidade de um produto de satisfazer a uma necessidade do cliente.

Portanto, o conceito de confiabilidade não fica apenas restrito na probabilidade de um ou mais itens falharem, mas à degradação do desempenho (defeito de pintura por exemplo) e à variação no tempo da falha. O conceito de confiabilidade implica no estudo de todo um universo de variáveis que influenciam diretamente para a ocorrência de falhas.

Para Ireson e Coombs (1988) a confiabilidade é a probabilidade de que um produto ou serviço funcione ao longo do tempo (por exemplo após 20.000 quilômetros; após 1 milhão de ciclos; após 2 anos) dentro de condições especificadas de operação, tais como: lama; umidade; poeira; tipo de motorista (jovem, velho, policial, ...); tipo de pavimento e outros. Verifica-se que a confiabilidade diminui ao longo do tempo de uso e pela utilização incorreta do equipamento.

Segundo Ireson e Coombs (1988), o custo para corrigir um problema é maior que o custo para preveni-lo. Em uma correção de projeto, normalmente se faz necessário novos e frequentes testes laboratoriais. Estes, demandam recursos financeiros na ordem de um terço do

orçamento do projeto onde testes de performance, confiabilidade e de aprovação são requeridos. Além deste número, não se está levando em consideração, os custos logísticos consequentes de reparos em campo, da indisponibilidade do produto para o cliente, da perda de imagem da marca do produto e tão pouco o nível de recursos desviados para correções de projeto e processos.

Neste artigo o conceito de confiabilidade será o de Ireson e Coombs (1988), pela sua objetividade, fácil identificação e por necessitar de uma estrutura mais simplificada para coleta de dados de campo. A confiabilidade será calculada através da elaboração das curvas de confiabilidade (interna e externa), não sendo abordados aspectos relativos aos custos.

3. Dados de campo

A análise de confiabilidade se baseia em modelos estatísticos de probabilidade, aplicados a dados de tempo decorrido até a falha. Os dados de tempo até a falha podem ser coletados de ensaios ou registros de falhas em produto funcionando em clientes (MARCORIN & ABACKERLI, 2003). Para Droguett (*apud* BIASOLI, 2003) a falta de dados é um problema encontrado na determinação do tempo de garantia dos produtos. Esta situação ocorre devido: à dificuldade de se obter dados de campo; velocidade das mudanças tecnológicas, o que exige que os dados sejam coletados rapidamente antes que o produto se torne obsoleto.

Os dados de confiabilidade de campo obtidos através de contatos com os clientes, ou através dos dados gerados durante os prazos de garantia pela assistência técnica fornecem um *feedback* de informações. Quanto mais detalhados estiverem esses dados, maior será o grau de precisão da análise.

Segundo Biasoli (2003) os dados de campo, além de capturar vários perfis de comportamento de uso real, representam o desempenho do produto exposto a diversos ambientes que podem ser de difícil reprodução em laboratório. Marconi & Abackerli *et al.* (2003) defendem que a utilização de dados de campo se constitui em uma alternativa bastante atrativa para estimativa de confiabilidade pelo seu baixo custo e sua disponibilidade imediata, impactando positivamente no tempo de desenvolvimento de novos produtos e tendo a vantagem das informações terem sido coletadas em condições reais de utilização.

Wang *et al.* (*apud* MARCONI & ABACKERLI, 2003) ressaltam que dados de falha podem ser diretamente utilizados para análises de produtos, tais como cálculo de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade de máquinas e elaboração de análises de falha como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Sendo assim, técnicas de falhas podem ser empregadas durante diversas etapas do ciclo de vida de um produto, desde sua concepção até a sua utilização no cliente, fornecendo subsídios para melhoria no projeto de sistemas e equipamentos.

É importante mencionar que estes dados nem sempre se apresentam de forma ideal para análise de confiabilidade, pois muitas vezes as informações estão incompletas, ou, até mesmo algumas falhas não foram registradas. Dados de campo têm como característica a baixa quantidade de falhas e a grande quantidade de censuras e, também, a típica mistura de diferentes modos de falhas, ou de falhas em diferentes fases de sua vida (MARCONI & ABACKERLI, 2003).

Segundo Baxter & Tortorella (1994), na prática, os dados de campo não são sempre reunidos para propósitos de análise estatísticas, e são frequentemente incompletos. Os fatores que fazem os dados de campo incompletos são: tempo incompleto de vida, manipulação tendenciosa e ambientes desconhecidos. Um outro problema é que quem coleta os dados, também afeta os resultados visto que eles podem ser coletados por uma variedade de pessoas com diferentes conhecimentos, capacidades e motivação (VOLLERTT, 1996).

Após esta breve revisão bibliográfica identificamos como vantagens de se utilizar os dados de campo para a análise da confiabilidade: o baixo custo e a utilização do produto em condições

diversas. Mas para isso é de fundamental importância coletar e dispor os dados de campo de forma criteriosa e confiável, para posterior cálculo e aperfeiçoamento da confiabilidade.

4. Análise do Modo e Efeito da Falha – FMEA

Segundo Kara-Zaitri & Keller (1991), FMEA representa uma metodologia potencial e bem documentada para engenheiros apresentarem, de uma maneira formalizada e estruturada, seus pensamentos subjetivos e suas experiências em termos de: o que pode estar errado com o componente, subsistema ou sistema?; o que este erro poderia causar caso ocorresse?; quais efeitos este erro teria?

Helman e Andery (1995) definem a FMEA como um método de análise de produtos ou processos usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo (não exige cálculos sofisticados). É portanto, um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa.

O FMEA foi utilizado pela WV alemã na década de 50, sendo esquecido, foi recuperada na década de 80 pelos japoneses e posteriormente pelos outros países.

A técnica é uma das ferramentas da confiabilidade mais utilizadas. Esta ferramenta utiliza-se de alguns índices para avaliar quantitativamente a gravidade da falha. Fundamenta-se nos índices de: ocorrência (probabilidade de ocorrência de um determinado tipo de falha, devida a cada uma das várias causas relacionadas); severidade (impacto que a falha trará aos consumidores e à própria empresa caso esta falha ocorra); detecção (é dependente dos controles e a estimativa da probabilidade deles não reconhecerem os diversos tipos de falhas); risco (multiplicação dos índices de ocorrência, severidade e detecção e tem como objetivo priorizar as ações corretivas, identificar as características críticas do produto, avaliar a eficácia das ações implementadas).

5. Sistemática proposta

Fundamentado na teoria propõem-se uma sistemática (quadro 1) para abordar a confiabilidade em pequenas e médias empresas.

Etapa		Descrição
1	Coletar e dispor os dados de campo e internos (inspeções e testes)	Identificar e avaliar como os dados internos e de campo são coletados, dispostos e analisados pela empresa. Avaliar e propor ações de aperfeiçoamento.
2	Construir o diagrama de blocos de confiabilidade, o RBD (<i>Reliability Block Diagram</i>) do produto	Analisar os sistemas que compõem o produto sob o aspecto dos mecanismos de falha.
3	Calcular as curvas de confiabilidade interna e externa	Tabular e dispor os dados estratificados sobre a garantia do produto que permitam calcular as curvas de confiabilidade, ou seja, existência de pontos que permitam estimar com confiança as curvas. As curvas podem ser estratificadas por exemplo: tempo, família de produto, produto, mercado e outros.
4	Analisar os dados identificando os modos de falha (defeito)	Verificar se os dados descrevem de forma confiável os mecanismos e modos de falha.
5	Dispor e analisar a relação entre modos de falha e as possíveis causas	Dividir as causas em três grupos de afinidade: projeto; processo; e uso pelo cliente.
6	Elaborar FMEA de projeto, de processo e de uso (cliente)	Utilizar formulário físico ou eletrônico para elaboração do FMEA
7	Avaliar, priorizar e implementar as ações propostas nos FMEA	

Quadro 1 – Sistemática proposta.

6. A pesquisa-ação na empresa Prática Fornos Industriais

A *Prática Produtos Ltda*, localizada em Pouso Alegre, no sul de Minas Gerais constituída em 1991, dedica-se à fabricação de fornos industriais e comerciais focada nos mercados de cozinhas profissionais e panificadoras. Trabalhando dentro dos princípios de qualidade total, a *Prática* é uma empresa voltada para as necessidades do mercado. Seus produtos possuem certificações que os qualificam para o mercado internacional, sendo comercializados em 14 países desde 2004. Com mais de 6.000 clientes, a empresa está entre as líderes do mercado. Seus produtos são fabricados de acordo com a necessidade do cliente nos mais diversos setores: hotelaria, hospitais, restaurantes, lanchonetes, cafés, padarias, refeições transportadas, cozinhas industriais, escolas, etc. A empresa é, desde agosto de 2003 certificada ISO 9001-2000. Em 2004, a *Prática* foi a vencedora da categoria Indústria e Comércio do Prêmio Excelência Empresarial, realizado pelo Sebrae Minas em parceria com o Grupo Gerdau.

A proposta de projeto do aumento da confiabilidade dos fornos *Prática* está escrito e organizado segundo a metodologia proposta pelo PMBOK, evidenciadas, passo a passo, com o desenvolvimento do projeto desde sua concepção até seu encerramento. A previsão para a implementação da sistemática é de 12 meses, tendo como meta ampliar o período de garantia para 24 meses, sendo necessário reduzir para 2% as intervenções de campo. Atualmente a garantia é de 12 meses, sendo que a média de intervenções de campo no período de garantia para todos os modelos de fornos é de 6%.

Descreve-se abaixo a implementação da sistemática proposta:

Etapas 1: Coletar e dispor os dados de campo e internos (inspeções e testes)

Dados de Campo: através da análise dos relatórios de garantia fornecidos pela assistência técnica, a equipe envolvida começa a tabular e dispor os dados estratificados sobre a garantia do produto com dados de pelo menos os últimos seis meses. As informações apresentadas nos relatórios dizem respeito ao tempo de uso do produto, modo de falha, descrição do componente reparado ou substituído e a classificação do forno (Combinado ou Panificação). Os dados são coletados e analisados sistematicamente a aproximadamente 2 anos, sendo coletados em um relatório padronizado e posteriormente analisados pelos funcionários da assistência técnica, que em caso de dúvidas solicitam esclarecimentos complementares ao técnico responsável pelo reparo. Os itens substituídos são enviados a *Prática* para uma análise detalhada com objetivo de identificar as causas e implementar ações de bloqueio. Mensalmente são realizadas reuniões de assistência técnica, para avaliar o índice de intervenções de campo, que era de 7,6% em 2003 e atualmente é de 6%, apresentando tendência de redução. Verificou-se que alguns dados obtidos nesses relatórios podem estar incompletos ou duvidosos, gerando confusão e atrapalhando a validação da coleta. Por isso, esta etapa deve ser bem sistemática, pois as informações obtidas aqui podem comprometer a precisão das análises gerando conclusões dispersas do real.

Dados internos: os dados aqui coletados dizem respeito as não conformidades ocorridas durante a fabricação e montagem do forno. Antes de ser embalado, os fornos passam por uma inspeção final, onde as interferências são dispostas em um relatório de não conformidade e analisados pelo pessoal da Qualidade. Desde novembro de 2004 que esse procedimento está em andamento. O índice de não conformidades interna, é também avaliado nas reuniões mensais. Na primeira inspeção, realizada em novembro, constatou-se 30,5% de não conformidade nos fornos inspecionados. Já em janeiro de 2005, esse índice subiu para 55,8% de fornos inspecionados não conforme. As informações obtidas estão dispostas de uma forma bem clara, que vem a indicar boa precisão nas análises finais.

Etapas 2: Construir o diagrama de blocos de confiabilidade, o RBD do produto

Uma vez tabulados esses dados o projeto segue-se com a construção do diagrama de blocos de confiabilidade, o *RBD* do produto, pela observação dos componentes que falharam, a

estrutura do produto e seu funcionamento. O quadro 2 descreve o diagrama de blocos do produto, considerando-se que os subsistemas do produto estão dispostos em série, e que a falha de qualquer um dos subsistemas ocasiona a parada na operação do produto.

Estrutura	Estrutura mecânica	Montagem elétrica	Componentes elétricos	Componentes mecânicos
Mecanismos de falha	Montagem	Montagem	Fabricação do componente	Desgaste
Modos de falha	Componentes Estruturais mal regulado, mal dimensionado, deformado, mal aparafusado, fora de posição. Vedação comprometida	Componentes e fiação elétrica deficiente, desconectado, mal regulado, rompido, com mau contato.	Componentes elétricos em curto, com mal contato, deficientes, queimado, sem aferição.	Desgaste da porta, vedação, protetor de fornalha, rolamento, turbina, fechadura, motor, etc.

Quadro 2 – RBD do forno.

A separação do produto em subsistemas ajuda-nos a visualizar e classificar melhor os tipos de falhas ocorridas no campo, possibilitando a priorização dos subsistemas potenciais em falhas.

As próximas etapas encontram-se em fase de implementação.

Conclusões:

A sistemática proposta, apesar de ter sido parcialmente avaliada, demonstra através dos resultados parciais ser eficiente, que são:

- o aumento dos defeitos internos identificados na inspeção final (30,5% e 55,8%), que se reflete na redução das intervenções da assistência técnica (7,6% para 6%), a análise deste índice desdobrou as ações: elaborar indicadores de não conformidade no corte, montagem e embalagem; estabelecer metas; estratificar as não conformidades; implementar metodologia de solução de problemas.
- apesar da empresa ter a mais de três anos uma sistemática de coleta e análise de dados da assistência técnica, muitos registros necessitam de informações complementares devido a sua ambigüidade. A elaboração do RBD do forno orientou na revisão dos tipos e posterior descrição defeitos de campo.

O apoio e interesse da alta administração têm se destacado como agente importante para implantação da sistemática proposta. Os diretores demonstraram interesse em implantar um laboratório que permita executar testes de nos fornos para avaliar os resultados de ações que permitam o aumento da confiabilidade.

Referências

- BAXTER, A. L. & TORTORELLA, M. (1984) - *Dealing With Real Field Reliability Data :Circumventing Incompleteness By Modeling &interation*. In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, pg. 55-261.
- BIASOLI, P. (2003) - *Modelagem Bayesiana da confiabilidade de produtos a partir de dados de campo de utilização de garantia*. Trabalho de Monografia de Conclusão para o Curso de Bacharelado em Estatística – UFRGS. Porto Alegre.
- FRITSCH, C. (1996) - *Modelos de Confiabilidade para Testes de Sobrevida*. Dissertação de Conclusão para o

Programa de Mestrado em Engenharia da Produção – PPGE/P/FRGS. Porto Alegre.

KARA-ZAITRI,C. & KELLER,Z.(1991) - *An Improved FMEA methodology*. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, pg 248-252..

LAFRAIA, J. (2001) - *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Qualitymark R. Janeiro..

MARCORIN, A. & ABACKERLI, A. (2001) - *Estudo Exploratório Sobre Áreas Potenciais de Aplicação de Técnicas de Confiabilidade*. Anais do XXI ENEGEP. Salvador.

MARCORIN, A. & ABACKERLI, A. (2003) - *Uma Proposta de Estimativa de Confiabilidade Utilizando Dados de Campo*. Anais do XXIII ENEGEP. Ouro Preto.

VOLLERT, J.R.(1996) – *Confiabilidade e falhas de campo: um estudo de caso para a melhoria da confiabilidade de um produto e do reparo, através de um procedimento sistemático de coleta de dados*. Dissertação de Conclusão para o Programa de Mestrado em Engenharia de Produção – UFSC. Florianópolis.

YANG, Kai. *Customer Driven Reliability: Integration of QFD and Robust Design*. In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium. 1997, p. 339-345.

IRESON, W. Grant & Coombs, Jr. Clyde F. – *Handbook of Reliability Engineering and Mangement*. USA: McGraw-Hill Book Company, 1988.

HELMAN, Horácio e ANDERY, P.R.P. *Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA - FTA)*, Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 1995.