

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS

Aluno: Diego Kalata Farina (dkfarina@gmail.com)

Orientadora: Carla Ten Caten (carlacaten@gmail.com)

RESUMO

Este artigo tem como objetivo a análise dos modos e efeitos de falha na fabricação de painéis de concreto pré-moldado. Para isso foi feita uma análise estruturada do processo e feito um levantamento dos modos de falha envolvidos. O resultado foi a identificação de oportunidades de melhoria no processo da empresa, assim como maior compreensão sobre as deficiências de seu processo como um todo.

Palavras-Chave: Concreto Pré-moldado, Construção civil, FMEA de processo.

ABSTRACT

This article aims to analyze the failure modes and effects in the manufacturing of prefabricated concrete panels. For that was done a structured analysis of the process and a survey of the failure modes involved. The result was the identification of opportunities for process improvement in the company, as well as greater understanding of the weaknesses of its process as a whole.

Key Words: Prefabricated concrete, Civil Engineering, Process FMEA.

1. INTRODUÇÃO

No segundo trimestre de 2010, o setor da construção civil apresentou um crescimento significativo sobre o mesmo período do ano anterior (IBGE, 2010). Segundo a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (2009), esse crescimento é impulsionado pelo aumento da renda, programas de financiamento para a habitação, incremento no emprego formal e crescimento na oferta de crédito.

González et al. (2010) ressaltam que empreendimentos de habitação de interesse social têm ênfase na redução de custos. Com o surgimento de programas

sociais de habitação, fomentados pelo déficit habitacional brasileiro, cria-se um ambiente propício para a execução de obras com alto grau de repetição e com foco em baixo custo. Serra et al. (2005) consideram vantajoso o uso dos pré-moldados de concreto, como um “sistema construtivo extremamente competitivo e muito utilizado no exterior”.

Segundo Castilho (1998), a pré-moldagem tem sido uma tendência e é definida como a moldagem feita fora do local definitivo de utilização, podendo assim, ser utilizada tanto em edificações como em muros de arrimo, estádios e outros. A autora aponta para vantagens na utilização dos pré-fabricados, das quais se destacam: maior produtividade da mão-de-obra, redução do material, independência em relação às condições climáticas e maior controle da qualidade da fabricação.

Sartor e Silva (2008) adicionam a essas vantagens: redução do prazo da obra, maior organização e segurança do canteiro. A estrutura pré-moldada é mais frequentemente observada na construção de edifícios de grandes dimensões. A sua aplicação na construção de residências é restrita e recente.

Porém, um dos problemas constatados durante o seu uso é a falta de controle da qualidade e conseqüente gasto excessivo com retrabalhos. A solução proposta é o uso da ferramenta FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas). Essa se popularizou quando foi inserida na norma QS-9000. Ao contrário de outros métodos de melhoria de qualidade, a FMEA não exige análises estatísticas complexas e, mesmo assim, pode resultar em significativa redução de falhas (MCDERMOTT et al., 2008).

Esta pesquisa tem como objetivo fazer uma análise dos modos e efeitos de falha na construção de um painel pré-moldado de concreto. O propósito desta análise é reconhecer e avaliar as falhas potenciais do processo de armação do painel, priorizá-las e buscar ações de melhoria. Esse processo mostrou-se o mais complexo na empresa. Esse exige maior cuidado na inspeção, tanto pelas peculiaridades em relação à tecnologia do concreto, quanto pelo tipo de formas utilizadas e quantidade de elementos inseridos no painel.

Este trabalho apresenta, na seção 2, uma breve revisão sobre Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA). Na seção 3, uma descrição do cenário em que está inserido esse estudo e a descrição do método utilizado. A seção 4 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do método apresentado e, por último, serão apresentadas as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA - FMEA (*FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*)

FMEA é uma ferramenta de confiabilidade para a identificação de falhas que podem ocorrer em um produto ou processo. O objetivo é analisar estas falhas e buscar ações que podem reduzir a probabilidade delas ocorrerem. Isso é feito de forma coordenada, buscando criar um método que possa ser utilizado como referência para o desenvolvimento do projeto ou processo (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Para Stamatis (2003), FMEA é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas potenciais e conhecidas de um sistema, projeto, processo ou serviço, antes que elas cheguem ao cliente. Para o autor, FMEA de processo é uma análise estruturada que permite a identificação de modo de falhas conhecidas ou potenciais, possibilitando um acompanhamento e ações corretivas, buscando minimizar efeitos de falha no processo de produção.

Por estes motivos, este trabalho apresenta a aplicação de uma FMEA de processo. Conforme manual do Instituto da Qualidade Automotiva (1997), FMEA de processo é uma técnica analítica com a finalidade de assegurar que os modos de falha potenciais e suas causas/mecanismos sejam avaliados. De uma forma mais precisa, é um resumo dos pensamentos da equipe durante o desenvolvimento de um processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar, baseados na experiência e nos problemas passados (IQA, 1997).

Modo de falha é qualquer maneira que o processo ou produto possa deixar de atender as suas especificações de projeto. Os modos de falha são identificados através de ocorrências anteriores, experiência em processos ou produtos semelhantes (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

O Instituto da Qualidade Automotiva (1997) complementa afirmando que modo de falha é a descrição de uma não conformidade em uma operação específica. Segundo Silva (2006), o modo de falha procura responder às questões: “como pode falhar um produto ou componente ou como pode falhar potencialmente um processo?”.

Os modos de falha possuem três características: o efeito, a causa e os controles de prevenção e detecção.

Stamatis (2003) define efeito como o resultado do modo de falha no processo. Para o autor, o efeito de falha deve ser a resposta do que ocorre quando uma falha acontece e quais são as suas consequências. Os efeitos são como estas falhas irão afetar o cliente. A intensidade do efeito de falha sobre o cliente pode ser medida através de uma escala de severidade (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009; IQA, 1997).

O manual do Instituto da Qualidade Automotiva (1997) afirma que a causa é como a falha pode ocorrer. Silva (2006) descreve como causa a razão pela qual o processo falha. Stamatis (2003) defende que a causa é provavelmente o item mais importante da FMEA, pois a sua definição encaminha para a prevenção ou para a correção do problema. Quanto mais precisa for a atribuição da causa, mais efetiva será a proposta de solução para a falha.

Todas as possibilidades de causas que possam levar aos modos de falha identificados devem ser descritas. Para cada falha, deve ser atribuído um valor de ocorrência (O). Fogliatto e Ribeiro (2009) apontam que, sempre que possível, deve-se utilizar dados quantitativos relacionados a dados históricos relativos ao processo ou ao produto. Quando estas informações não estão disponíveis, é necessário o uso de uma análise qualitativa através do consenso da equipe. Em ambos, deve-se utilizar uma avaliação criteriosa para manter a consistência ao estudo.

Os controles de prevenção e detecção devem descrever os controles aplicados ao processo que podem impedir ou detectar seu respectivo modo de falha antes de chegar ao cliente. Geralmente envolvem dispositivos Poka-Yoke, CEP, Inspeção Visual, etc. Isso pode ser medido através do índice de Detecção (D), que é um valor que representa a frequência da falha ocorrida não ser detectada antes de alcançar o cliente (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009; IQA, 1997).

O risco (R) é o resultado da multiplicação simples da Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), desta forma é possível priorizar aqueles itens que obtiveram um resultado de risco elevado e buscar ações para reduzir severidade, ocorrência ou não-detecção. Fernandes (2005) afirma que este é o método mais utilizado para se medir o risco associado a cada modo de falha.

Antes de iniciar a construção da planilha da FMEA, é necessário definir uma equipe formada por representantes de todas as áreas envolvidas no estudo. Estes participantes devem possuir conhecimento técnico sobre o processo ou produto analisado e terão influência direta nos resultados obtidos (FOGLIATTO E RIBEIRO,

2009). Isto porque as informações utilizadas no estudo são baseadas na experiência dos integrantes do próprio estudo, sendo frequentemente obtidas através de métodos de *Brainstorming*. Também devem ser reunidos documentos que irão servir de suporte para a análise.

As principais atividades na elaboração de uma FMEA são as seguintes de acordo Fernandes (2005):

- Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
- Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade;
- Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa;
- Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção;
- Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas

Segundo Silva et al. (2006), a grande vantagem do uso deste método é a sistematização e o caráter metódico. Araújo et al. (2000) e Mury (2000) afirmam que o uso consistente da FMEA pode permitir a identificação de problemas que não haviam sido antecipados evitando suas reincidências e oferecendo meios para uma priorização das ações corretivas. Carvalho e Andery (1998) adicionam que uma das importâncias da aplicação da ferramenta FMEA está no consequente aumento da confiabilidade e redução de custos no processo.

Fogliatto e Ribeiro (2009) acrescentam que estão entre as vantagens do uso da FMEA de processo:

- Auxílio na identificação de parâmetros do processo a serem monitorados para redução ou detecção da condição de falha no processo;
- Avaliação objetiva de alternativas para a manufatura;
- Documentação dos resultados para análises futuras;
- Compreensão por parte dos envolvidos sobre os aspectos importantes do processo;
- Referência para melhoria de processos similares.

Uma das dificuldades encontradas na elaboração da FMEA reside no fato de que as empresas não possuem uma base histórica de dados para uma avaliação

mais objetiva. Com isso, torna-se difícil a determinação dos índices de ocorrência e detecção (SILVA et al., 1997). Outras grandes críticas em relação ao FMEA são sobre a forma de cálculo do risco e a forma de priorização das medidas necessárias para a redução de risco (FERNANDES, 2005).

Silva et al. (2006) apontam a possibilidade de aplicação do método no setor da construção, em diferentes níveis da empresa: tanto na fase de projeto quanto na fase de fabricação.

Fernandes (2005), Araújo et al. (2009) e Fogliatto e Ribeiro (2009) reforçam que um ponto importante do processo é a revisão da FMEA, pois sempre há alterações nas condições de um processo que causam alterações na FMEA. Desta forma, a FMEA não deve ser apenas um documento, mas uma ferramenta de uso no dia a dia da fábrica.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CENÁRIO

A empresa escolhida é uma construtora de grande porte com a matriz localizada na cidade de São Paulo. Essa possui sedes regionais, dentre elas uma localizada em Porto Alegre-RS.

Atua em todos os perfis de venda na construção de unidades residenciais. Com o crescimento de programas habitacionais no país, a empresa recentemente criou um segmento destinado exclusivamente para obras voltadas para a Classe C e D. Devido a esse novo foco, a empresa iniciou a operação de duas fábricas de pré-moldados no ano de 2010. O trabalho será realizado na fábrica situada na cidade de Canoas.

Atualmente, a fábrica atua como fornecedora para as obras da própria empresa. Seus produtos são peças pré-moldadas de concreto que formam as estruturas das unidades de parte dos empreendimentos da empresa, como lajes, painéis, escadas, muros, blocos e vigas de fundação.

Os painéis são elementos estruturais do prédio, que formam tanto a fachada do edifício como a formação dos cômodos internos dos apartamentos. São o principal produto da fábrica, possuem maior complexidade no processo de fabricação e há maior incidência de retrabalho. Por estes motivos, o processo com

maior possibilidade de análise através da utilização da ferramenta FMEA é a fabricação dos painéis portantes de concreto.

A fabricação do painel de concreto pré-moldado é feita em formas metálicas verticais agrupadas, em um formato semelhante a uma bateria automotiva. Para que seja possível a execução deste processo, é necessária a utilização de um concreto especial: auto-adensável. Sendo assim, ele é capaz de preencher espaços mais restritos do molde, possuindo melhor acabamento e dispensando mão-de-obra para acomodá-lo.

O processo de fabricação do painel inicia-se no setor de ferragens, onde são feitas as armações de aço com telas e reforços. Estas armações são montadas em gabaritos verticais de madeira, simulando as formas metálicas que receberão o concreto posteriormente. O próximo passo é a inserção de qualquer elemento elétrico ou hidráulico e espaçadores plásticos nesta armação. A ferragem montada do painel é armazenada em um estoque intermediário para manter abastecida a montagem das armações nas formas.

As armações são colocadas uma a uma, em sequência, na bateria de formas, que devem estar previamente recobertas por um líquido desmoldante. Esse produto tem como função proteger a forma metálica e facilitar o processo de desforma, na qual a peça pronta é retirada do molde. A bateria de formas é fechada através de um dispositivo com oito tensores, que devem ser igualmente apertados com firmeza. Assim, a forma está pronta para receber o concreto.

O concreto auto-adensável é fornecido por uma usina externa à empresa. O concreto é lançado dentro das formas utilizando caçambas de aço içadas por pontes rolantes. Durante a concretagem, são moldados os corpos de provas, elementos que, posteriormente, serão rompidos para verificar a resistência mecânica do concreto aplicado.

Após um determinado tempo, é feito o primeiro teste de rompimento dos corpos de prova. Se for atingida a resistência mecânica requerida, o painel pode ser removido da forma e transportado para outro local. Caso necessário, o painel receberá o acabamento. O painel é armazenado em uma zona de estoque final onde aguardará o envio para a sua respectiva obra.

O apêndice 1 apresenta o fluxograma do processo de fabricação dos painéis de concreto.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

Segundo Silva e Menezes (2001), o método de pesquisa deste trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa aplicada, pois objetiva a geração de conhecimentos práticos sobre um problema específico. Será utilizada uma abordagem qualitativa e quantitativa. Do ponto de vista dos objetivos, essa é uma pesquisa exploratória, visando proporcionar familiaridade com o problema analisado. Quanto aos procedimentos metodológicos, o trabalho é classificado como estudo de caso com elementos de pesquisa-ação.

Neste trabalho foi utilizado o método da FMEA conforme proposto por Fogliatto e Ribeiro (2009) para a análise do processo de fabricação do painel de concreto pré-moldado. Para isso, foram realizadas as seguintes etapas:

- Formação da equipe de estudo
- Definição dos limites do processo analisado
- Análise do processo, construção do fluxograma e definição de informações necessárias
- Coleta de dados e documentos
- Construção da tabela da FMEA
- Cálculo dos riscos e definição de ações recomendadas
- Detalhamento das ações de melhoria
- Acompanhamento das ações de melhoria

A formação da equipe buscou reunir pessoas que participam em áreas envolvidas com o processo estudado, como manufatura e qualidade. Utilizando a experiência da equipe em diversos aspectos do processo, foi possível fazer uma análise completa do mesmo.

A segunda etapa consistiu na definição do processo a ser estudado. Foram delimitados os limites do processo, bem como quais os setores e clientes envolvidos no estudo.

A seguir, foi feita uma análise do processo, principalmente através da construção de um fluxograma. Também foram definidas quais as informações foram necessárias para a execução do estudo da FMEA.

Na quarta etapa, de coleta dos dados, foram reunidas informações referentes a ocorrências no processo, observadas na etapa anterior. Os dados foram obtidos de documentos relacionados ao processo, de pessoas envolvidas e da observação e

análise do processo em estudo. Em consenso com a equipe e todos os envolvidos na reunião, foram definidos os valores para severidade, ocorrência e detecção de cada um dos modos de falha associados.

A etapa seguinte foi a construção e preenchimento da planilha da FMEA. Foram reunidos todos os envolvidos com o processo em estudo, junto com os dados levantados na etapa anterior. Assim foram listados todos os itens, modos de falha, efeito, causas e meios de detecção.

Stamatis (2003), defende que a escala mais utilizada e altamente recomendada é a de 1 a 10, pois permite maior facilidade de interpretação, precisão e diferenciação nos valores de risco. Por esse motivo, os valores de Severidade, Ocorrência e Detecção foram atribuídos com base nessa gradação.

Sendo assim, a avaliação da severidade graduou como 1 o efeito mínimo sobre o cliente e 10 um grave impacto sobre o cliente, como exemplifica a figura 1.

Severidade do efeito do modo de falha		S
Mínima	Mínimo efeito no desempenho, provavelmente não será percebido pelo cliente.	1
		2
Baixa	Provoca leve insatisfação, com apenas leve queda de desempenho.	3
		4
Moderada	Provoca insatisfação devido à perda de desempenho ou mau funcionamento.	5
		6
Alta	Provoca alta insatisfação do cliente.	7
		8
Muito Alta	Compromete segurança da operação ou envolve infração a regulamentos.	9
		10

Figura 1: Exemplo de classificação de severidade (Adaptado de Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Para avaliação da ocorrência das falhas, 1 seria a mínima frequência de ocorrência e 10 uma falha praticamente inevitável, como demonstra a figura 2.

Ocorrência do modo de falha		O
Remota	(1 em 1500000)	1
Muito Baixa	(1 em 15000)	2
	(1 em 5000)	3
Baixa	(1 em 2000)	4
	(1 em 400)	5
Moderada	(1 em 80)	6
	(1 em 20)	7
Alta	(1 em 8)	8
	(1 em 3)	9
Muito Alta	(1 em 2)	10

Figura 2: Exemplo de classificação da ocorrência (Adaptado de: SILVA et al., 2006).

Para o valor da detecção, 1 seria um modo de falha que quase certamente seria detectado a tempo, enquanto 10 representa que não há controle para detectar o problema. A descrição da detecção é apresentada na figura 3.

Detecção pelo meio de controle		D
Muito Alta	Praticamente certo que o modo de falha será detectado	1
		2
Alta	Alta probabilidade de o modo de falha ser detectado	3
		4
Moderada	O modo de falha pode ser detectado	5
		6
Baixa	Baixa probabilidade de detectar o modo de falha	7
		8
Muito Baixa	Provavelmente o modo de falha não será detectado	9
		10

Figura 3: Exemplo de classificação da escala de detecção (Adaptado de Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Na sexta etapa foi calculado o risco para cada um dos modos de falha. Como o Risco é o produto dos três índices, seu valor máximo pode chegar a 1000. Fernandes (2005) esclarece que 1 seria um baixíssimo risco ao cliente e 1000 um risco crítico. Como critério na busca por uma confiabilidade de 90% no processo, os modos de falha com um índice de risco superior a 100 foram considerados um ponto limite, a partir do qual foi necessário realizar ações de melhoria. Para esses itens foram definidas quais deviam ser as ações tomadas para que o Risco desses fosse reduzido. Estas informações foram colocadas na planilha da FMEA conforme apêndice 2.

Em seguida, essas ações recomendadas foram detalhadas em atas de reunião conforme os padrões da empresa. O objetivo foi definir o que, por que, por

quem, aonde, quando e como foi feito. Estas ações buscaram reduzir o Risco de cada item através da atenuação da severidade, ocorrência ou detecção.

A última etapa foi o acompanhamento das ações recomendadas e os efeitos sobre o processo. Houve um recálculo no índice de Risco dos itens modificados com sucesso a fim de confirmar se essas ações resultaram na redução desse valor. Por último, todo o estudo foi registrado a fim de possibilitar estudos posteriores no caso de ações não efetivas, mudanças no processo ou definição de novas metas de qualidade de processo.

4. RESULTADOS

Devido ao reduzido corpo técnico-administrativo e a sua sobrecarga nas atividades, a equipe foi composta por um número relativamente pequeno de pessoas. A equipe foi formada pelo engenheiro responsável pela manufatura das peças pré-moldadas, um analista de qualidade envolvido no processo de fabricação dos painéis pré-moldados e o pesquisador deste estudo. Não foi possível a inclusão de um profissional ligado diretamente ao cliente da fábrica.

Foram definidos como limites do processo a ser analisado no estudo da FMEA: o início da fabricação da armação em aço do painel, desde o momento em que o funcionário inicia o corte das telas soldadas em aço, até o fechamento da forma a ser preenchida com concreto. Foram definidos estes limites considerando-se que a maior parte dos problemas ocorre neste intervalo e que o processo da concretagem não está sob controle tecnológico da empresa e sim de um fornecedor.

Os setores envolvidos no estudo foram as áreas de manufatura dos painéis e o setor de controle de qualidade do processo. O cliente do processo de fabricação dos painéis é o setor de montagem na obra, sendo esse o local onde foi constatada a maior parte dos efeitos de falha.

O processo de fabricação apresentou-se simples. Praticamente todas as atividades do processo são manuais, executadas por funcionários com formação muito limitada. Observou-se também que existe uma variação nos procedimentos. O controle de qualidade do processo é feito apenas com inspeção visual. No caso da montagem das armações, são utilizados os gabaritos como forma de prevenir falhas nas dimensões das telas de aço. Em outros casos, porém, não há formas preventivas de detecção de modos de falha.

Não há um registro formal das falhas que ocorrem no processo de fabricação dos painéis. Os documentos utilizados no processo de fabricação são: uma lista de verificação e a Instrução de Trabalho. A lista de verificação é composta por itens que um inspetor de qualidade deve preencher aprovando ou reprovando. A Instrução de Trabalho é uma descrição de como o processo de fabricação dos painéis deve ser executado.

Tanto a lista de verificação, quanto a Instrução de trabalho são documentos desatualizados e com poucas informações. Esta falta de registro de falhas impossibilitou uma aproximação quantitativa para o problema. Sendo assim, os dados existentes foram coletados para auxiliar na construção da FMEA, com base em avaliações qualitativas dos modos e efeitos de falha.

A construção da tabela da FMEA foi realizada em duas reuniões. Nelas estiveram presentes além da equipe já citada: o engenheiro responsável pela montagem dos painéis na obra, o responsável pela fábrica, o responsável pelo setor de fabricação de painéis, o responsável pelo setor de ferragens e o responsável pelo setor de elétrica. Porém, após estas reuniões, as etapas seguintes deste trabalho foram aplicadas somente pela equipe inicial.

A primeira reunião realizou uma breve apresentação do que é uma FMEA de processo e quais os seus objetivos. Utilizando como referenciais alguns documentos disponíveis já citados e a experiência dos presentes, foram levantados todos os modos de falha das quatro operações do processo: fabricação das armações, colocação de elementos elétricos, colocação das armações nas formas e fechamento da forma. Depois, foram relacionados efeitos, causas e meios de detecção de cada modo de falha. Essas informações foram levantadas em ambiente de *brainstorming* e anotadas na planilha.

Ao fim das reuniões, foi montada a planilha da FMEA. O risco R foi calculado e foi considerada uma ação recomendada para modos de falha que resultassem em um Risco de 100 ou superior. Esses modos de falha são apresentados na figura 4. A planilha completa pode ser vista no apêndice 2.

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R
Fabricação das Armações	Aço de reforço faltando	Redução na resistência estrutural do painel	7	Erro do armador	4		Inspeção visual	8	224
	Gancho de içamento colocado fora de posição	Insegurança no içamento	6	Erro do armador	5		Inspeção visual	8	240
	Insuficiência ou mau posicionamento de espaçadores plásticos	Exposição do aço.	5	Erro do armador	8		Inspeção visual	3	120
Colocação de elementos elétricos	Falta de caixa elétrica	Impossibilita a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	8	Erro do montador	4		Inspeção Visual	5	160
	Mau posicionamento da caixa elétrica	Dificulta a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	5	Erro do montador	6		Inspeção com Trena	6	180
			5	Erro na armação	6	Gabarito	Inspeção Visual	6	180
	Eletroduto descentralizado na forma	Eletroduto aparente.	5	Eletroduto mal colocado na armação	3		Inspeção Visual	7	105

Figura 4: Planilha FMEA com risco resultante

As ações recomendadas foram definidas pela equipe. Estas ações procuraram reduzir um dos fatores S, O ou D. Essas ações foram definidas conforme a figura 5.

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	R	Ação Recomendada	Responsável	Data
Fabricação das Armações	Aço de reforço faltando	Redução na resistência estrutural do painel	224	Formação de conjuntos de aços para reforço para cada painel	Encarregado pela Fábrica	10/jun
	Gancho de içamento colocado fora de posição	Insegurança no içamento	240	Dispositivo poka-yoke para garantir existência e posição da alça de içamento	Encarregado pela Fábrica	10/jun
	Insuficiência ou mau posicionamento de espaçadores plásticos	Exposição do aço.	120	Padronização e marcação no gabarito de locais a serem colocados os espaçadores	Analista de Qualidade	10/jun
Colocação de elementos elétricos	Falta de caixa elétrica	Impossibilita a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	160	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun
	Mau posicionamento da caixa elétrica	Dificulta a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	180	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun
			180	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun
	Eletroduto descentralizado na forma	Eletroduto aparente.	105	Utilização de espaçador plástico para garantir cobertura de concreto	Analista de Qualidade	10/jun

Figura 5: Ações recomendadas

Os prazos para que as alterações acontecessem foram estipulados de acordo com o responsável. Estas ações e o detalhamento delas foram registradas em ata de reunião, conforme o padrão da empresa.

Não foi viável realizar todas as ações recomendadas na FMEA. Não houve condições para que fossem feitos os conjuntos de reforços de aço para a armação de painéis. Isso ocorreu devido a falta mão-de-obra e espaço. Alternativamente, foi decidido apenas marcar os reforços nos gabaritos para a armação, como forma de alertar visualmente quando devem ser empregados.

Outra ação não aplicada foi a utilização do dispositivo poka-yoke para a alça de içamento do painel. Isso ocorreu por não ter sido encontrada uma forma que não prejudicasse o processo de armação. Essa se tornou uma ação pendente que necessitará uma revisão para poder ser implementada.

As ações restantes foram realizadas com sucesso. Inicialmente foi testada a funcionalidade em um painel separadamente e, após resultado satisfatório, foi expandida para o resto do processo.

Depois desses resultados iniciais, houve reavaliação dos índices de ocorrência, severidade e detecção daqueles itens em que foram realizadas melhorias. Portanto, o valor de risco dos modos de falha foi recalculado. Em todos os casos em que a ação recomendada foi plenamente executada, os valores de risco se mostraram satisfatoriamente menores. Esses novos valores demonstraram que essas ações obtiveram sucesso na redução do risco de falhas, conforme figura 6.

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	Ações Efetuadas	S	O	D	R
Fabricação das Armações	Aço de reforço faltando	Redução na resistência estrutural do painel	Fixação de lista e marcação de reforços de aço no gabarito do painel	7	3	6	126
	Insuficiência ou mau posicionamento de espaçadores plásticos	Exposição do aço.	Padronização e marcação no gabarito de locais a serem colocados os espaçadores	5	8	2	80
Colocação de elementos elétricos	Falta de caixa elétrica	Impossibilita a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	8	3	3	72
	Mau posicionamento da caixa elétrica	Dificulta a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	5	2	5	50
			Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	5	2	5	50
	Eletroduto descentralizado na forma	Eletroduto aparente.	Introduzido o uso de espaçadores plásticos para o eletroduto	5	2	7	70

Figura 6: Ações efetuadas e novo cálculo de risco

Contudo, o problema encontrado na implementação dos conjuntos de reforços permaneceu com o valor de risco alto, apesar de uma solução alternativa ter sido

aplicada. Esse modo de falha e aquele referente ao gancho de içamento permaneceram críticos, necessitando mais pesquisas para melhorias.

Através da análise estruturada da FMEA, também foi possível evidenciar deficiências do processo para a empresa. Por exemplo, a grande influência do erro humano durante as operações de armação dos painéis e a grande dependência da inspeção visual como método de detecção de falhas.

Além disso, as ações de melhoria realizadas mostraram-se funcionais como, por exemplo, a fixação das tampas das caixas elétricas. Nesse caso, além de alertar para a existência desse objeto, indica a sua posição precisa, o que agiliza a montagem. Outra ação positiva foi a padronização na colocação de espaçadores plásticos. O seu posicionamento correto resulta no revestimento de concreto necessário sobre a armação de aço. Adicionalmente, essa padronização da distribuição dos espaçadores aumenta a eficiência dos mesmos, permitindo uma redução da quantidade total desse material.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi identificar e analisar os modos de falha no processo de fabricação dos painéis de concreto pré-moldado através da aplicação da FMEA. Com a finalidade de encontrar melhorias no seu processo, em alinhamento com a missão de melhoria contínua da empresa.

A aplicação da FMEA mostrou-se eficaz na análise do processo de fabricação dos painéis pré-moldados. Através desta análise, foi possível obter maior compreensão das dificuldades encontradas na produção dos painéis. Desta forma, chegou-se a algumas oportunidades de melhoria no processo, que, de uma forma simples, obtiveram êxito. Foram identificadas ações de melhoria nas operações de colocação das caixas elétricas e espaçadores plásticos nas armações dos painéis.

As grandes dificuldades encontradas foram: a falta de dados históricos na qualidade do processo, a indisponibilidade do corpo técnico para atender às necessidades deste trabalho.

Sendo assim, fica evidenciada a falta de controle sistemático de qualidade nos processos de fabricação desta fábrica. Há a necessidade da implementação deste controle e maiores estudos neste segmento (painéis pré-moldados), bem

como em outros (lajes, escadas, vigas.), para que o funcionamento dos processos sofra melhorias.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Edson Teixeira; GIACAGLIA, Giorgio Eugenio Oscare; MUNIZ, Jorge; CAMARGO, Paulo Rogerio. In: V CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO – CNEG, 2009, Rio de Janeiro. **Gestão da Produção: Utilização Do Método Fmea No Processo De Soldagem GMAW Em Uma Indústria De Máquinas De Elevação E Transporte**. Rio de Janeiro, 2009.

ARAÚJO, Luís Otávio Cocito de; GRILO, Leonardo Melhorato; SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de; MELHADO, Silvio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DE QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO NO AMBIENTE, n.2, 2001, Fortaleza. **O Microplanejamento do Serviço de Concretagem: Análise e Aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade**. Fortaleza, 2001. Anais...

CARVALHO JR., Antônio Neves; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO: TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS. SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1998, São Paulo. **Ferramentas de Análise de Falhas aplicadas à execução de obras de edificação**. São Paulo, 1998.

CASTILHO, Vanessa Cristina de. **Análise estrutural de painéis de concreto pré-moldado considerando a interação com a estrutura principal**. 1998. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

FERNANDES, José Márcio Ramos. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. 2005. Dissertação de Mestrado para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1ed; São Paulo: Elsevier, 2009.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Volume e Valores Correntes**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 08/09/2010.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. V. 19. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf; SILVA, Adriana Terezinha da; MORO, Paulo Ricardo Pinto; KERN, Andrea Parisi; KOCH, Daiana Beatris. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 2010, Rio Grande do Sul. **Parâmetros de sustentabilidade e empreendimentos de habitação de interesse social**. Rio Grande do Sul, 2010.

IQA- INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Manuais QS-9000**. São Paulo: IQA, 1997. Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial: FMEA.

MCDERMOTT, Robin; MIKULAK, Raymond; BEAUREGARD, Michael. **The basics of FMEA**. 2ed; London: Productivity Press; 2008.

MURY, Luiz Gilberto Monclaro. **Uma Metodologia Para Adaptação E Melhoria De Produtos A Partir Da Engenharia Reversa**. 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SARTOR, Ezequiel.; SILVA, Marcus da. **Pré-moldados de concreto**. 2008. Monografia de Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, 2008.

SERRA, Sheyla Mara Baptista; FERREIRA, Marcelo de Araújo; PIGOZZO, Bruno. In: 10. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 2005, São Carlos. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. São Carlos, 2005.

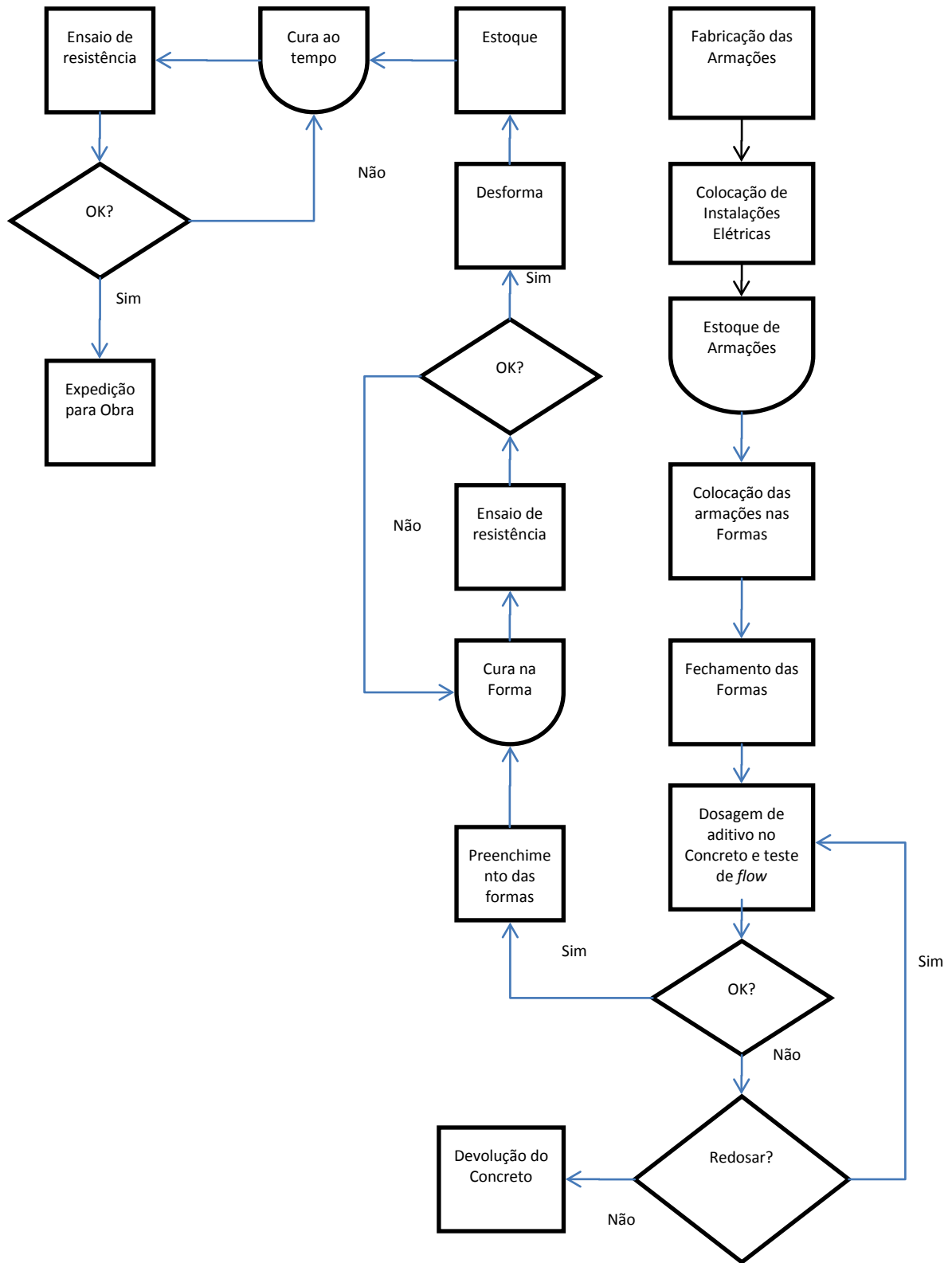
SILVA, Carlos Eduardo Sanches da., TIN, Jorge Vitor., OLIVEIRA, Vanderlei C. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1991, Porto Alegre. **Uma Análise da Aplicação da FMEA nas Normas de: Sistema de Gestão pela Qualidade (ISO9000 e QS9000), Sistema de Gestão Ambiental (ISO14000) e Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho (BS8800 - futura ISO18000)**. UFRGS: Porto Alegre, 1997.:

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. 3ed. Florianópolis, 2001.

SILVA, Sónia Raposo Costa e; FONSECA, Manuel; BRITO, Jorge de. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, 2006, Lisboa. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. Lisboa, 2006.

STAMATIS, Dean H. **Failure Mode and Effect Analysis**. 2ed; Milwaukee; ASQC Quality Press ,2003

6. APÊNDICE



Apêndice 1: Fluxograma da Fabricação do Painel Pré-Moldado

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R	Ação Recomendada	Responsável	Data	Ações Efetuadas	S	O	D	R	
Fabricação das Armações	Corte de tela acima das dimensões especif.	Dificulta a montagem armação na forma e retrabalho	3	Gabarito inadequado ao projeto do painel	2	Inspeção do gabarito com trena	Inspeção visual	4	24									
	Corte de tela abaixo das dimensões especif.	Redução na resistência estrutural do painel	8	Gabarito inadequado ao projeto do painel	2	Inspeção do gabarito com trena	Inspeção visual	4	64									
			8	Erro do armador	4	Gabarito	Inspeção visual	2	64									
	Aço de reforço faltando	Redução na resistência estrutural do painel	7	Erro do armador	4		Inspeção visual	8	224	Formação de conjuntos de aços para reforço para cada painel	Encarregado pela Fábrica	10/jun.	Fixação de lista e marcação de reforços de aço no gabarito do painel	7	3	6	126	
	Utilização de tela diferente da especificada	Alteração na resistência estrutural do painel	3	Erro do armador	1		Inspeção visual	8	24									
	Inversão da montagem da armação	Dificulta a montagem armação na forma e retrabalho	4	Erro do armador	4	Gabarito	Inspeção visual	3	48									
			4	Gabarito inadequado ao projeto do painel	1	Inspeção do gabarito com trena	Inspeção visual	4	16									

Apêndice 2 – Tabela completa da FMEA

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R	Ação Recomendada	Responsável	Data	Ações Efetuadas	S	O	D	R	
Fabricação das Armações (cont.)	Recorte de tela feito em local deslocado	Dificulta a montagem armação na forma e retrabalho	3	Erro do armador	6	Gabarito	Inspeção visual	2	36									
			3	Gabarito inadequado ao projeto do painel	1	Inspeção do gabarito com trena	Inspeção visual	4	12									
	Gancho de içamento faltando	Insegurança no içamento e retrabalho	10	Erro do armador	3		Inspeção visual	3	90	Dispositivo poka-yoke para garantir existência e posição da alça de içamento	Encarregado pela Fábrica	10/jun.						
	Gancho de içamento colocado fora de posição	Insegurança no içamento	6	Erro do armador	5		Inspeção visual	8	240	Dispositivo poka-yoke para garantir existência e posição da alça de içamento	Encarregado pela Fábrica	10/jun.						
	Insuficiência ou mau posicionamento de espaçadores plásticos	Exposição do aço.	5	Erro do armador	8		Inspeção visual	3	120	Padronização e marcação no gabarito de locais a serem colocados os espaçadores	Analista de Qualidade	10/jun.	Padronização e marcação no gabarito de locais a serem colocados os espaçadores	5	8	2	80	
	Troca na etiqueta de identificação	Dificuldade para encontrar armação no estoque	3	Erro do encarregado de armação	3		Inspeção visual	5	45									
			6	Erro do encarregado de armação	3		Inspeção visual	5	90									

Apêndice 2- Tabela completa da FMEA - Continuação

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R	Ação Recomendada	Responsável	Data	Ações Efetuadas	S	O	D	R	
Colocação de elementos elétricos	Falta de caixa elétrica	Impossibilita a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	8	Erro do montador	4		Inspeção Visual	5	160	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun.	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	8	3	3	72	
	Mau posicionamento da caixa elétrica	Dificulta a execução de instalações elétricas na obra e retrabalho	5	Erro do montador	6		Inspeção com Trena	6	180	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun.	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	5	2	5	50	
			5	Erro na armação	6	Gabarito	Inspeção Visual	6	180	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	Engenheiro de Manufatura	17/jun.	Fixação de espera para caixa elétrica na forma metálica	5	2	5	50	
	Caixa elétrica quebrada	Vazamento de concreto para dentro da caixa e eletroduto	7	Defeito de fabricação da caixa	3		Inspeção Visual	4	84									
			7	Mau armazenamento da caixa ou da armação	4	"Cabide" para armazenamento das armações	Inspeção Visual	3	84									
	Eletroduto mal fixado na caixa elétrica	Vazamento de concreto para dentro da caixa e eletroduto	7	Problema no engate plástico	2		Inspeção Visual	3	42									

Apêndice 2- Tabela completa da FMEA - Continuação

Operação	Modo Potencial de Falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	D	R	Ação Recomendada	Responsável	Data	Ações Efetuadas	S	O	D	R
Colocação de elementos elétricos (cont.)	Eletroduto descentralizado na forma	Eletroduto aparente.	5	Eletroduto mal colocado na armação	3		Inspeção Visual	7	105	Utilização de espaçador plástico para garantir cobertura de concreto	Analista de Qualidade	10/jun.	Introduzido o uso de espaçadores plásticos para o eletroduto	5	2	7	70
Colocação das armações nas formas	Armação colocada do lado inverso	Inutilização da peça	8	Erro do montador	2		Inspeção Visual	2	32								
	Arranques para solda faltando	Dificulta a montagem dos painéis na obra	4	Erro do montador	4		Inspeção visual	4	64								
Fechamento da Forma	Falta de estanqueidade da forma após fechamento	Vazamento de concreto e alteração nas dimensões da peça	7	Má execução do fechamento com os tirantes	2		Inspeção visual	4	56								
			7	Objeto estranho obstruindo fechamento	3		Inspeção visual	4	84								
	Colocação do fechamento lateral equivocado	Retrabalho	6	Erro do montador	2		Inspeção visual	5	60								
	Gabarito metálico de abertura fora de prumo	Dificuldade de instalação de marcos e janelas	5	Suportes do gabarito metálico danificados	1	Manutenção periódica das formas	Inspeção visual	4	20								

Apêndice 2- Tabela completa da FMEA -Continuação.