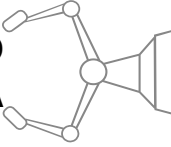


IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS CRÍTICAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA GOIABA DE MESA



Luiz Neto Paiva e Silva Muller

luizpsmuller@gmail.com; Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Carlos Ivan Mozambani

cmozambani@gmail.com; Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Lucas Rodrigues Deliberador

deliberadorlucas@gmail.com; Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Resumo: O Brasil vive um de seus momentos mais dinâmicos na fruticultura. Além de ampla variedade de espécies produzidas em todas as regiões do país e nos mais diversos tipos de clima, o incremento da produtividade e as formas de gestão da produção vêm ganhando espaço. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a aplicação da ferramenta de gestão da qualidade FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) no processo de produção de goiaba de mesa de um empreendimento rural, localizado no interior de São Paulo. Além da aplicação dessa ferramenta, foi contraposto dois métodos de análise (NPR e método gráfico) nos processos de produção da cultura da goiaba. A aplicação da ferramenta FMEA demonstrou que o processo de produção de goiaba de mesa analisado apresenta diversos erros com riscos altos. As etapas de produção de florescimento e surgimento do fruto são as que devem ser feitas de forma mais cuidadosa, em decorrência de que as falhas que podem ocorrer nessa etapa trazem prejuízos à operação, e consequentemente ao produtor.

Palavras-chave: Priorização de falhas; Produção de goiaba; FMEA.

Abstract: Brazil is experiencing one of its most dynamic moments in fruit growing. In addition to the wide variety of species that are produced in all regions of the country and in the most diverse types of climate, increased productivity and forms of production management are gaining ground. In this context, the present work aimed to study the application of the quality management tool FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) in the guava production process of a rural enterprise located in the interior of São Paulo. In addition to the application of the tool, two methods of analysis (NPR and graphical method) were contrasted in the processes of guava crop production. The application of the FMEA tool demonstrated that the guava production process analyzed presents several errors with high risks. The stages of flowering production and fruit emergence are the ones that should be done more carefully, because the failures that can occur in this stage cause damage to the operation, and consequently to the producer.

Keywords: Failures prioritization, Guava production, FMEA.

Resumen: Brasil está experimentando uno de sus momentos más dinámicos en el cultivo de frutas. En conjunto de la gran variedad de especies producidas en todas las regiones del país y en los más diversos tipos de clima, el aumento

de la productividad y las formas de gestión de la producción han comenzado a ganar terreno. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar la aplicación de la herramienta de gestión de calidad AMEF (Análisis del Modo y Efectos de Falla) en el proceso de producción de guayaba en una empresa rural, ubicada en el interior del estado de São Paulo. Para la aplicación de esta herramienta, se usaron dos métodos de análisis (NPR y método gráfico) en los procesos de producción del cultivo de guayaba. La aplicación de la herramienta AMEF demostró que el proceso de producción de guayaba analizada presenta varios errores con altos riesgos. Las etapas de la producción de floración y nacimiento de la fruta son las que deben hacerse con más cuidado, porque las fallas que pueden ocurrir en esta etapa perjudican la operación y, en consecuencia, al productor.

Palabras clave: *Priorización de fallas; Producción de guayaba; AMEF.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vivencia um de seus momentos mais dinâmicos na fruticultura. Conforme levantamentos do Censo Agropecuário de 2013, a produção brasileira de frutas somou 41,6 milhões de toneladas, movimentando mais de 24 bilhões de reais. Nesse contexto, embora com menor expressão em comparação às frutas como laranja e banana, a goiaba movimentou em 2013 aproximadamente 350 toneladas e mais de 392 milhões de reais. Os estados de Pernambuco e São Paulo se destacam detendo, respectivamente, 30% e 39% da produção de goiaba do país em uma área superior a 7.700 hectares (IBGE, 2013).

Atualmente, o aumento das exigências dos consumidores a uma alimentação mais saudável potencializa a demanda por estes produtos. Entretanto, cabe-se destacar que a fruta é um produto que sofre uma rígida exigência do mercado e deve ser fornecida com qualidade e segurança (REETZ et al., 2015). Nesse sentido, a busca por iniciativas que aumentem a competitividade e diminuam falhas nas etapas produtivas apresenta-se como essencial.

A utilização de ferramentas de qualidade, como o FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha), é uma iniciativa que pode auxiliar a gestão e melhoria da qualidade. Palady (1997) descreve o FMEA como uma técnica utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, de sistemas, projetos, processos, produtos e serviços antes que estas atinjam o cliente. O autor ainda cita dois possíveis métodos de mensuração comumente usados para auxiliar nessa análise: o Número de Prioridade de Risco (NPR) e o Método gráfico. O NPR cria uma classificação crescente do resultado da multiplicação de três atributos (severidade, ocorrência e detecção) para cada causa identificada no processo produtivo; já o método gráfico, consiste em um gráfico dividido em regiões que situam as falhas de alta, média e baixa prioridade.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a aplicação do FMEA em um empreendimento rural, localizado no interior de São Paulo. Aplicou-se a ferramenta FMEA e contrapuseram-se dois métodos de análise (NPR e método gráfico) nos processos de

produção da cultura da goiaba. Este artigo está organizado em cinco seções: depois desta introdução, é apresentado o referencial teórico (Seção 2); a seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos que subsidiaram as análises; a seção 4, os resultados e suas discussões; e a seção 5, as considerações finais.

2. GESTÃO DA QUALIDADE

Embora a preocupação com a qualidade seja grande desde 1950, foi somente em 1980 que indústrias ocidentais promoveram esforços significativos para alterar os conceitos de sua gestão (CORRÊA; CORRÊA, 2005). Nessa evolução, esses autores destacam dois pontos essenciais para o entendimento desse tema. O primeiro ponto afirma que a qualidade é formada durante os processos de produção, não sendo uma característica formada e acrescentada a um produto acabado somente ao finalizar a produção; portanto, o foco de qualidade deve ser nos processos e não no produto. O segundo ponto enfatiza que, como o foco da qualidade deve ser nos processos, suas ações devem ser simultâneas a eles.

Programas de gestão da qualidade podem trazer vários benefícios para uma organização (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ; MARTINEZ-COSTA; MARTÍNEZ-LORENTE, 2015; SAILAJA; BASAK; VISWANADHAN, 2018). Em uma pesquisa realizada com empresas de grande porte no Brasil, Pinto, Carvalho e Ho (2006) evidenciam que, além de proporcionar maiores ganhos financeiros, os investimentos realizados na qualidade são diretamente proporcionais à satisfação dos clientes. Entretanto, para que os esforços sejam bem-sucedidos, a adoção de programas de qualidade deve ser realizada de maneira sistêmica e com o auxílio de ferramentas de qualidade e envolvimento de todos dentro da organização (MOGHADAM; SAFARI; YOUSEFI, 2019; VENKATESH; SUMANGALA, 2018).

2.1. Ferramentas da qualidade

Moghadam, Safari e Yousefi (2019) citam que as ferramentas da qualidade são instrumentos que objetivam melhorar as atividades produtivas. Para isso, um grande número delas está disponível para aplicação nos processos. Essas ferramentas podem ser consideradas como um elemento facilitador de sistemas de qualidade participativos que visam a estabilização e a melhoria contínua. Existem diversos tipos de ferramentas, como histogramas, *brainstorming*, fluxograma dos processos, método dos 5 por quê's, diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto, cartas de controle, ciclo PDCA, 6 Sigma entre outras (MOGHADAM; SAFARI; YOUSEFI, 2019; VENKATESH; SUMANGALA, 2018; VRELLAS; TSIOTRAS, 2015).

Outra ferramenta importante da qualidade, descoberta principalmente por estudos realizados nas indústrias bélicas e nucleares norte-americanas e que acarretou no desenvolvimento de um procedimento formal para análise de falhas, é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise dos Modos de Falha e Efeitos). Diversos autores apresentam definições para essa ferramenta que, em linhas gerais, se assemelham (PALADY, 1997; STAMATIS, 2003; SLACK, CHAMBERS; JOHNSTON, 2008; OOKALKAR; JOSHI; OOKALKAR, 2009; MOGHADAM; SAFARI; YOUSEFI, 2019). Cabe neste contexto, citar o estudo de Palady (1997) que descreve o FMEA como uma técnica de baixo risco, porém eficiente para identificação das soluções na prevenção de problemas e mais eficaz em termos de custos. O FMEA é um método estruturado para avaliação e condução de desenvolvimento e melhoria de produtos, processos e serviços; é uma ferramenta para prognóstico de problemas e, também, um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados (MOGHADAM; SAFARI; YOUSEFI, 2019).

Segundo Ooakalkar, Joshi e Ooakalkar (2009), o FMEA é uma análise em perspectiva qualitativa que ajuda a identificar e resolver os pontos fracos e vulneráveis em um produto e/ou processo. Esses autores acrescentam que, originalmente, foi criada com o objetivo de prevenir problemas de segurança. No entanto, atualmente é também usada na prevenção de diversos tipos de processos e produtos auxiliando os sistemas a se tornarem mais robustos. Entre as vantagens e uma das principais causas de grande utilização do método está na generalização dos formulários, o que possibilita que cada empresa promova a implantação de acordo com as suas características.

Pode-se afirmar que, uma vez discriminadas as causas interferentes no processo produtivo, é necessário destacar quais se apresentam como limitantes principais, portanto, prioritárias a atenção. Nessa perspectiva, a Lei do Mínimo, descrita por LIEBIG concilia com a abordagem FMEA à gestão de processos agrícolas, “o nível de produção da planta não pode ser maior do que o possibilitado pelo mais limitativo dos fatores essenciais ao crescimento vegetal” (BRADY, 1979). De encontro a esta perspectiva, vários estudos abordando pontos específicos em determinados sistemas agroindustriais utilizaram do método FMEA, tanto para análise em modos de falhas em determinadas etapas do processo, quanto para identificarem etapas críticas com riscos ambientais (BERTOLINI *et al.*, 2006; ZAMBRANO; MARTINS, 2007; CAMPOS *et al.*, 2008; ROSA; GARRAFA, 2009; NOGUEIRA *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2011; OZILGEN, 2012; RABELO *et al.*, 2014).

2.2. Exemplos de aplicações práticas

Rosa e Garrafa (2009) analisaram modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola no processo de colheita de canola. A determinação

de prioridades dos modos de falha foi feita de forma comparativa, por meio do NPR e de um método gráfico, ambos utilizando classificações para severidade, ocorrência e detecção; os resultados indicaram convergências e divergências de resultados, destacando a importância do método tradicional (NPR), porém sugerindo que este não deve ser usado com exclusividade.

Campos *et al.* (2008) identificaram dezessete variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar, com a utilização da ferramenta FMEA, sendo o espaçamento irregular entre sulcos a de maior criticidade. A avaliação do espaçamento entre sulcos revelou que a operação de sulcação não atende aos limites de tolerância especificados pela Usina (objeto de estudo), independentemente dos sistemas de orientação utilizados, manual e piloto automático. Embora não atendendo às especificações, o sistema de piloto automático de plantio apresentou percentual maior de espaçamentos dentro dos limites especificados.

A aplicação da metodologia FMEA para a análise do sistema de rastreabilidade, descrita no estudo de Bertoloni *et al.* (2006), possibilitou a identificação de pontos críticos na cadeia de abastecimento alimentar, permitindo a gerência propor melhorias no sistema de rastreabilidade.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O seguinte trabalho aplicou o método de estudo de caso. O estudo de caso é um método de caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto de vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que se insere não são claramente definidas (YIN, 2010). Para Souza (2005), dentre os benefícios principais da condução de um estudo de caso, está a possibilidade de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. É neste último sentido que o presente trabalho se enquadra.

3.1. Objeto de estudo

O presente trabalho tem como objeto de estudo a produção de goiaba de mesa em um estabelecimento rural localizado no município de Ariranha/SP, situado a 345 km da capital do Estado. A propriedade possui 39 hectares (ha) distribuídos com produção de cana-de-açúcar (33 ha), goiaba (4,5 ha) e carambola (1,5 ha). As tarefas executadas no pomar são em sua maioria realizadas com mão de obra familiar (pulverizações com adubação foliar e defensivos agrícolas, adubações via solo, colheita e embalagem) com um

gestor e dois auxiliares. A etapa de poda, necessária para brotação e florescimento, é terceirizada a uma equipe especializada, que cobram por pé de fruta podado, porém, não se responsabilizam sobre a quantidade e a qualidade dos frutos. Existe, também, uma assistência técnica, disponibilizada pelo fornecedor de insumos, que indica e se responsabiliza pelos produtos utilizados no controle de pragas, doenças e adubação no cultivo.

O proprietário realizou o plantio de 357 mudas em 2008, sob o espaçamento de 7x6 metros. Dois anos depois, realizou mais um plantio, de 858 mudas, porém desta vez com espaçamento menor 7x5 aproveitando melhor a área destinada à produção. Somando-se os dois plantios há em 4,5 ha 1215 plantas, todas irrigadas com sistema de micro aspersão. A proximidade do cultivo ao comprador (intermediário) é de dois quilômetros e meio, um dos pontos fortes da parceria entre os agentes. O produtor colhe e embala os frutos, em caixas de papelão de 9, 12 ou 15 kg de acordo com a especificação (tamanho, cor ou consistência da casca) passada previamente pelo intermediário, que busca a produção na propriedade. Depois, esta fruta in natura segue para dois centros de distribuição em caminhões refrigerados, os CEASAS de Piracicaba/SP, localizado a 240 km do município, e Uberlândia/MG 337 km.

3.2. Aplicação do método FMEA

A aplicação do FMEA ao cultivo da goiaba contou com a colaboração de uma equipe denominada “Equipe FMEA”, incluindo o pesquisador, o cliente do processo estudado e os envolvidos em sua execução (gestor do empreendimento, dois assistentes de operações, um técnico em agropecuária – representante da empresa fornecedora de insumos – e um responsável pela empresa compradora da produção). Com o intuito de aumentar a credibilidade das conclusões alcançadas, as análises levaram em conta diferentes perspectivas de fontes variadas.

Primeiramente, os integrantes da Equipe FMEA listaram as etapas do processo, e dentro delas, identificaram as variáveis críticas. Estas variáveis foram definidas como a causa do modo de falha dentro do processo, de maneira que, uma vez identificadas e controladas estas causas, poderia ocorrer a redução dos efeitos indesejados. O formulário proposto por Palady (1997) foi utilizado como referência para as variáveis críticas (Tabela 1).

Tabela 1 – Formulário de Entrada para FMEA.

Etapas	Modo(s) de falha(s)	Causa(s)	(S)	(O)	(D)	Efeito(s)	Risco (S×O×D)	Ações
(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)*	(6)*	(7)*	(8)*	(9)*

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Palady (1997).

S – Severidade; O – Ocorrência; D – Detecção.

*Os números entre parênteses referem-se ao texto.

O passo a passo realizado para preenchimento do formulário (Tabela 1) foi: (1) identificação das etapas do processo que serão analisadas; (2) determinação de cada possível erro que possa ocorrer nas etapas; (3) definição das possíveis causas do erro; (4) definição da severidade deste erro; (5) definição da probabilidade de ocorrência do erro; (6) definição da dificuldade de detectar cada erro; (7) definição da lista dos efeitos que o modo de falha pode gerar; (8) definição do grau de risco obtido pelo produto das colunas (4), (5) e (6); e por fim, (9) descrição das ações preventivas e corretivas.

Há dois métodos muito utilizados para analisar os resultados obtidos. Os valores situados em uma faixa crescente, que indicam desde baixíssimo risco até risco crítico para o resultado mais elevado, atribuído pela multiplicação da pontuação dada para as classificações de severidade, ocorrência e detecção; ou o chamado Número de Prioridade de Risco (NPR) (HELMAN; ANDERY, 1995). Para cada uma das variáveis envolvidas no cálculo do NPR é frequentemente usado valores constantes num intervalo de 0 a 10. Neste sentido, segue as Tabelas 2, 3 e 4, com os respectivos critérios de seleção para severidade, ocorrência e detecção baseadas nos estudos de Rosa e Garrafa (2009) e Toledo e Amaral (2000).

Utilizando esses critérios para definição dos índices, calcula-se o risco para cada erro, sendo que aqueles em que o índice de probabilidade de ocorrência for maior ou igual a 5 devem ser tratados com maior atenção juntamente com os que apresentarem NPR maior que 200 (SILVA Jr., 2003).

Tabela 2 - Critérios de seleção de índices de severidade (S).

Grau de Severidade	Critério
1	Perda imperceptível na produção
2	Diminuição em até 5% na produção
3	Diminuição de 5% a 10% na produção
4	Diminuição de 10% a 15% na produção
5	Diminuição de 15% a 20% na produção
6	Diminuição de 20% a 25% na produção
7	Diminuição de 25% a 30% na produção
8	Diminuição de 30% a 35% na produção
9	Diminuição de 35% a 40% na produção
10	Diminuição superior a 40% na produção

Fonte: Adaptado pelos autores com base em Rosa e Garrafa (2009).

Tabela 3 - Critérios de seleção de índices de ocorrência (O).

Ocorrência	Índice	Proporção
Remota	1	1:100.000
Pequena	2	1:20.000
	3	1:4.000
Moderada	4	1:1.000
	5	1:400
	6	1:80
Alta	7	1:40
	8	1:20
Muito alta	9	1:08
	10	1:02

Fonte: Toledo e Amaral (2000).

Tabela 4 - Critérios de seleção de índices de detecção (D).

Índice de detecção	Probabilidade de detecção da Falha
1	Quase certamente
2	Alta
3	
4	Moderada
5	
6	
7	Remota
8	
9	Absoluta incerteza
10	

Fonte: Adaptado pelos autores de Rosa e Garrafa (2009).

Embora este método convencional seja bastante usado, algumas alternativas estão sendo propostas. Uma delas é descrita por Palady (1997) por meio da elaboração de um gráfico dividido em regiões que situam as falhas de alta, média e baixa prioridade. O autor salienta ainda que as escalas de avaliação são determinadas pela equipe, que deve buscar os mais elevados graus de severidade, colocada no eixo horizontal do gráfico, e os mais altos índices de ocorrência, demonstrada no eixo vertical. Estas regiões foram estabelecidas pela Equipe FMEA a partir da definição de pontos diversos das fronteiras das áreas de prioridade de forma coerente com a política de qualidade e os procedimentos do empreendimento rural.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da aplicação da ferramenta FMEA, foi criada uma tabela que aponta um conjunto de modos de falha, suas possíveis causas, seus graus de severidade, ocorrência e detecção, seus efeitos, seu grau de risco NPR e suas ações preventivas e corretivas (ver Tabela 5). Na elaboração da Tabela 5, além da ampla experiência dos envolvidos, a Equipe FMEA tomou como base uma produção de 60.000 quilogramas de fruto por hectare, ou seja, levando em consideração a área e total de plantas no estudo, a produção esperada por planta seria de 216 quilogramas, equivalente as práticas de cultivo e adubação empregadas na propriedade e embasadas por Natale et al. (2009), o que facilitou para os integrantes mensurarem os valores atribuídos a severidade e probabilidade de ocorrência de falhas.

Tabela 5 - Aplicação no método FMEA na produção de goiaba de mesa.

Modo de Falha	Causa(s)	S	O	D	Efeito(s)	NPR	Ações
Poda inadequada (1)	(a) Deixar poucos galhos no pé.	6	<u>6</u>	2	Danos à goiabeira, levando a prejuízos financeiros e prejudicando produções futuras.	72	(1.1) Verificação permanente enquanto a equipe terceirizada estiver trabalhando; (1.2) Contratar sempre equipes de poda que tenham bom histórico.
	(b) Deixar muitos galhos no pé.	2	4	2		16	
	(c) Quebrar muitos galhos.	3	4	2		24	
Flores doentes (2)	(a) Necessidade de nutrientes (adubação pós-poda incorreta).	4	3	9	Não surgimento de frutos o que prejudicará a produção.	108	(2.1) Prevenir com correta adubação e pulverizações pós-poda; (2.2) Verificar sempre umidade do solo caso haja necessidade hídrica; (2.3) Calcular corretamente época de podas para o florescimento não ocorrer em épocas de chuva.
	(b) Chuva no surgimento da flor.	8	<u>6</u>	5		<u>240</u>	
	(c) Falta de água (da poda ao florescimento).	4	4	4		64	
	(d) Erro na pulverização com defensivos pós-poda.	7	<u>6</u>	6		252	
Fruto doente (3)	(a) Necessidade de nutrientes (adubação de florescimento incorreta).	6	4	9	A perda inicial do fruto e risco de contaminar os demais.	216	(3.1) Prevenir com correta adubação e pulverizações no florescimento; (3.2) Verificar sempre umidade do solo caso haja necessidade hídrica; (3.3) Calcular corretamente época de podas para o florescimento não ocorrer em épocas de chuva.
	(b) Falta de água (do florescimento ao surgimento do fruto).	4	3	4		48	
	(c) Erro na pulverização com defensivo na fase do florescimento.	7	<u>6</u>	6		<u>252</u>	
	(d) Excesso de água (muita chuva na floração).	9	<u>8</u>	4		<u>288</u>	

Modo de Falha	Causa(s)	S	O	D	Efeito(s)	NPR	Ações
Fruto que não cresce (4)	(a) Necessidade de nutrientes (1º e 2º adubação de crescimento incorreta).	5	4	7	Desvalorização do produto pelo cliente pela aparência pequena.	140	(4.1) Prevenir com corretas adubações (no surgimento do fruto e fase de crescimento);
	(b) Falta de água (no surgimento do fruto e fase de crescimento).	6	3	4		72	(4.2) Verificar sempre umidade do solo caso haja necessidade hídrica;
	(c) Excesso de frutos na planta.	3	5	4		60	(4.3) Treinar corretamente os auxiliares para retirada do excesso de frutos (logo no surgimento dos mesmos).
Fruto com aspecto ruim (5)	(a) Falta de água (do crescimento ao ponto de colheita).	3	3	3	Desvalorização do produto pelo cliente pela aparência ruim (riscado, torto, machucado, entre outros).	27	(5.1) Verificar sempre umidade do solo caso haja necessidade hídrica; (5.2) Prevenir com correta pulverização de defensivo no crescimento do fruto.
	(b) Erro na pulverização com defensivo na fase de crescimento do fruto.	7	5	6		210	
	(c) Excesso de água (muita chuva na fase de crescimento e época de colheita).	4	6	3		72	
	(d) Ventanias.	9	2	2		36	
	(e) Chuvas de granizo.	10	1	1		10	
Perda de frutos (6)	(a) Falta de cuidado do coletor da fruta ao retirá-la da planta.	2	4	4	Prejudicial a empresa, pois além de todo custo durante a produção atrapalha o planejamento e pode levar à falta do produto.	32	(6.1) Treinar os coletores para não danificarem as goiabas no momento da apanha, usar luvas de pano de preferência;
	(b) Incorreta forragem* das caixas plásticas no momento da apanha.	3	6	3		54	(6.2) Treinar os coletores fazer a forragem* das caixas plásticas corretamente;
	(c) Transporte das caixas plásticas do pomar à sala de embalagem sem os devidos cuidados.	2	3	4		24	(6.3) Treinar o tratorista para manusear cuidadosamente as caixas do pomar a sala de embalagem.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

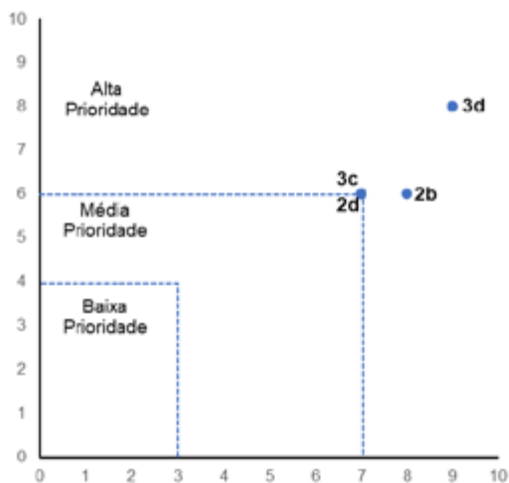
*A forragem consiste em colocar no fundo das caixas uma quantidade de folhas para que as frutas que estão na parte inferior não sofram ferimentos (amassados, riscos, entre outros).

Os modos de falha foram encontrados em diferentes etapas: poda inadequada (etapa de poda da goiabeira); flores doentes (etapa de florescimento); fruto doente (etapa de surgimento do fruto); fruto que não cresce (etapa de crescimento do fruto); fruto com aparência ruim (etapa de fruto no ponto de colheita) e; perda de frutos (etapa de fruto colhido).

Em relação às causas, embora algumas demonstraram índice de probabilidade de ocorrência igual ou maior que 5, cuja literatura argumenta que devam ser tratadas com maior atenção, optou-se por priorizar as causas cujo NPR foi maior que 200, respeitando a escolha e opinião da Equipe FMEA como também a indicação de Silva Jr. (2003). Portanto, os problemas com maior índice de NPR concentraram-se principalmente nas etapas “surgimento do fruto” e “florescimento”. As causas “excesso de água (muita chuva na floração)” e “chuva no surgimento da flor” foram ocasionadas pela poda no momento errado (outubro a novembro), sendo que o florescimento ocorreu em dezembro e janeiro, meses de muita chuva na região, tornando a probabilidade de ocorrência do modo de falha muito alta. O recomendado para estes casos é fazer a poda de fevereiro a maio evitando assim épocas de elevada densidade hídrica, que podem trazer problemas para a produção. Destaca-se, também, que algumas falhas são motivadas por causas comuns e deveriam ser monitoradas de forma mais ativa.

Outras causas que obtiveram NPR altos foram os erros nas pulverizações de defensivos, tanto pós-poda quanto na fase do florescimento, e “necessidade de nutrientes (adubação de florescimento incorreta)”. A demora/atraso e/ou ineficiência destas prejudicou no surgimento do fruto sadio e ocasionou sua perda precoce. Como correção, o monitoramento, por parte do técnico agrícola terá de ser mais eficiente, bem como os aplicadores terão de ser mais efetivos quando estas etapas se retornarem na safra seguinte.

No intuito de comparar o resultado do método tradicional, para priorizar os modos de falha potenciais, optou-se pela metodologia proposta por Palady (1997). A Equipe FMEA considerou como pontos iniciais de fronteira de alta prioridade no gráfico o valor de severidade igual ou maior que 7, e de probabilidade de ocorrência igual ou maior que 6. Para a média prioridade se deu os valores iniciais de 3 para severidade e de 4 para probabilidade de ocorrência. Por fim, para baixa prioridade ficaram os valores na parte inferior, como pode ser verificado na Figura 1. As causas elencadas pelo método gráfico trouxeram como priorizações: 3d - “excesso de água (muita chuva na floração); 2b - “chuva no surgimento da flor”; 3c - “erro na pulverização com defensivo na fase do florescimento”; e 2d - “erro na pulverização com defensivos pós-poda”. Quando comparadas com o método NPR observa-se a repetição das prioridades, comprovando a necessidade em atender de imediato estas causas.

Figura 1 - Método gráfico para determinação das prioridades.

Fonte: Autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da ferramenta FMEA mostrou diferentes erros no processo de produção de goiaba de mesa que são comuns e apresentam riscos muito altos. As duas etapas de produção (florescimento e surgimento do fruto) requerem uma atenção especial, pois as falhas que podem ocorrer nesta etapa trazem prejuízos à operação e consequentemente ao produtor. As ações para evitar essas falhas são de fácil aplicação, através da verificação constante e atenção no momento de execução. Embora nenhum dos dois métodos aplicados tenha destacado as causas “ventania” e “chuvas de granizo” como críticas de erro, a severidade observada quando um destes é incidente em uma produção é preocupante, contudo, por se tratar de eventos climáticos não controláveis nada pode ser feito para evitá-los.

A abordagem usada serviu para demonstrar a viabilidade do uso da técnica FMEA na determinação de ações preventivas para aperfeiçoar os processos de produção da goiaba. A complementaridade dos dois métodos (NPR e método gráfico) foi extremamente importante. Desta forma conseguiu atender as causas de alta prioridade de falhas.

Assim como outros estudos, este apresentou limitações. Destaca-se que o estudo foi realizado em apenas um empreendimento rural, localizado no interior de São Paulo, podendo ser estendido e comparado com outros empreendimentos. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, abriram-se alternativas para continuidade de estudos envol-

vendo modos de falhas em processos produtivos da fruticultura em geral, contribuindo para que o empreendimento rural obtenha maiores produtividades e o consumidor receba um produto de melhor qualidade.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil – CAPES (Código de Financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

BERTOLINI, M.; BEVILACQUA, M.; MASSINI, R. **FMEA Approach to product traceability in the food industry**. *Food Control*, p. 137-145, 2006.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e Avaliação de Variáveis Críticas no Processo de Produção da Cana-de-Açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e de Operações: manufatura e serviços: um enfoque estratégico**. 1. ed. São Paulo: Atlas. 2005.

COSTA, C. C. de M.; OLIVEIRA, L. G. de; LIMA, L. B. da C.; LÍRIO, V. S. A Aplicação do Método FMEA e suas Implicações no Planejamento de uma Microempresa Rural: estudo de caso da granja oliveira. **Produção Online**, Florianópolis, v. 11, n. 3, p. 757-778, jul./set., 2011.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas** (aplicação dos métodos de FMEA – FTA). Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2013. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: julho 2015.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, D.; MARTINEZ-COSTA, M.; MARTÍNEZ-LORENTE, A. R. Total quality management performance in multinational companies: a learning perspective. **TQM Journal**, v. 27, n. 3, p. 328-340, 2015.

MOGHADAM, M. R. S.; SAFARI, H.; YOUSEFI, N. Total Quality Management & Business Excellence Clustering quality management models and methods: systematic literature review and text-mining analysis approach. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 0, n. 0, p. 1-24, 2019.

MOURA, C. **Análise de modos e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência**. SAE J-1739, 2000.

NATALE, W.; PRADO, R. de M.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS Jr., D. de. Goiabeira. In: CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. (org.). **Aduando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p. 104-124.

NOGUEIRA, A. C.; PERES, A. de P.; CARVALHO, E. M. Avaliação do Risco Ambiental Utilizando FMEA em um Laticínio na Região de Lavras – MG. **Produção Online**, v. 11, n. 1, p. 194-209, 2011.

OAKLAND, J. S. **Statistical Process Control**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.

OOKALKAR, A. D.; JOSHI, A. G.; OOKALKAR, D. S. Quality Improvement in heamodialysis process using FMEA. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Nagpur (India), v. 26, n. 8, p. 817-830, 2009.

OZILGEN, S. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for confectionery manufacturing in developing countries: Turkish delight production as a case study. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 505-514, 2012.

PALADY, P. FMEA: **Análise dos Modos de Falha e Efeitos**. 5. ed. São Paulo: IMAM. 1997.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M. de; HO, L. L. Implementação de programas de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 191-203, maio/ago. 2006.

RABELO, M. H. S.; SILVA, E. K.; PERES, A. de P. Análise de Modos e Efeitos de Falha na avaliação dos impactos ambientais provenientes do abate animal. **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 1, p. 79-86, 2014.

REETZ, E. R. *et al.* **Anuário Brasileiro da Fruticultura 2014**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2015.

ROSA, L. C. da; GARRAFA, M. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita da canola. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 63-73, 2009.

SAILAJA, A.; BASAK, P. C.; VISWANADHAN, K. G. Hybrid fuzzy MCDM model for effective utilization of quality cost analysis in manufacturing firms. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 24, n. 2, p. 219-241, 2018.

SILVA JR, A. G. **Gestão ambiental e da qualidade ambiental no agronegócio**. Viçosa: UFV, 2003.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas. 2008.

SOUSA, R. **Case research in operations management**. EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management. Bruxelas, 2005.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: From Theory to Execution**. Milwaukee, American Society for Quality, Quality Press. 2003.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D.C. **FMEA: análise dos tipos e efeitos de falha**. 2000. Disponível em: <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2015.

VENKATESH, N.; SUMANGALA, C. Success of manufacturing industries – Role of Six Sigma. MATEC Web of Conferences. **Anais...**, 2018.

VRELLAS, C. G.; TSIOTRAS, G. D. Quality management in the global brewing industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Nagpur (India), v. 32, n. 1, p. 42–52, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e método**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 295-309, 2007.