Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Potencial de aplicação da mentalidade enxuta em atividades agrícolas: estudos de caso

Argélio Lima Paniago

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2017

Argélio Lima Paniago
Engenheiro Mecânico

Potencial de aplicação da mentalidade enxuta em atividades agrícolas: estudos de caso

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS MILAN**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Paniago, Argélio Lima

Potencial de aplicação da mentalidade enxuta em atividades agrícolas: estudos de caso / Argélio Lima Paniago. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

153 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Gestão na agricultura 2. Produtividade na agricultura 3. Melhoria contínua 4. Sustentabilidade I. Título

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais, Geraldo Lima Brandão (*In memoriam*) e Waldira Paniago Brandão, pois eles possibilitaram que eu me tornasse aquilo que sou hoje.

À minha esposa Sandra, sempre contribuindo para que eu siga em frente.

Aos meus filhos Gabi, Renan e Luca, motivos para eu me aperfeiçoar profissionalmente e pessoalmente.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, pelo conhecimento disponibilizado.

Ao meu orientador Professor Marcos Milan, pelo apoio, direcionamento, consideração e pelas conversas sempre tão gratificantes.

Aos professores Thiago Libório Romanelli, José Paulo Molin e Gabriel Adrian Sarries, pelo apoio que deram ao trabalho.

Aos colegas de pós-graduação Diana Carolina Vasquez, Nelson Cerino Franco Júnior, João Paulo Soto Veiga (Sorto), Daniela Oliveira, João Henrique Mantellato Rosa (Botão), Maria Carolina Andrea, Leonardo Vargas Posada (Colombino), Mark Spekken e André Colaço pelo companheirismo, ajuda, apoio e por tornarem esse tempo de pós-graduação um pouco menos árduo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao pessoal da John Deere, em nome de Marcelo Lopes, Carlos Graminha e Caio Correa, pelo apoio financeiro e logístico. À Giovana Bego pelo apoio e ajuda na coleta de dados na Usina Santa Terezinha.

Ao grande amigo João Paulo Lopez pelo apoio e encaminhamento.

Ao Thiago Mercadante Neves e Marcos Broggio, pelo apoio e por tornar possível o trabalho junto à Raízen.

Ao Paulo Marostica, pela confiança e por tornar o trabalho junto à Duratex possível.

Ao pessoal da Usina Santa Terezinha, Usina Costa Pinto e Duratex, pelo apoio, confiança e abertura para execução dos estudos.

À secretaria do Programa Engenharia de Sistemas Agrícolas, em nome da Secretária Davilmar Aparecida Domingues Collevatti pelo apoio e informações concedidos.

A todos aqueles que apoiaram e ajudaram este trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

“Existe apenas um bem, o saber, e apenas um mal, a ignorância. ”

Sócrates

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ANEXOS	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. COLHEITA MECANIZADA DA CANA DE AÇÚCAR (CMC).....	17
2.1.1. <i>Influência da máquina na produtividade</i>	18
2.1.2. <i>Qualidade na colheita mecanizada</i>	20
2.1.3. <i>Planejamento na colheita mecanizada</i>	21
2.2. COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA (CMM)	22
2.2.1. <i>Influência da máquina na produtividade</i>	23
2.2.2. <i>Avaliação da produtividade no sistema de colheita da madeira</i>	25
2.2.3. <i>Planejamento e otimização do sistema de colheita da madeira</i>	26
2.3. MENTALIDADE ENXUTA	26
2.3.1. <i>Conceitos básicos da mentalidade enxuta</i>	27
2.3.2. <i>Utilização da mentalidade enxuta na agricultura</i>	29
2.3.3. <i>Mapeamento de Processo e da qualidade</i>	30
2.3.4. <i>Mapeamento do fluxo do valor (MFV)</i>	31
2.3.4.1. <i>Indicadores de desempenho básicos do MFV</i>	31
2.3.4.2. <i>Aplicações do MFV</i>	32
2.4. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1. LOCAL E EQUIPAMENTOS	35
3.2. FASE 1 – MAPEAMENTOS DO PROCESSO, MAPEAMENTO DA QUALIDADE E COLETA DE TEMPOS OPERACIONAIS	37
3.2.1. <i>Mapeamento do processo</i>	37
3.2.2. <i>Mapeamento da qualidade</i>	38
3.2.3. <i>Indicadores do processo</i>	38
3.2.4. <i>Coleta de tempos operacionais</i>	42
3.2.4.1. <i>Coleta de tempos na colheita mecanizada da cana de açúcar</i>	42
3.2.4.2. <i>Coleta de tempos na colheita mecanizada da madeira</i>	44
3.3. FASE 2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO. MAPEAMENTO DO FLUXO DO VALOR - MFV NO ESTADO PRESENTE	47
3.3.1. <i>Definição das funções densidade de probabilidade</i>	47
3.3.2. <i>Determinação dos parâmetros de simulação e validação do modelo.</i>	50
3.3.3. <i>Mapeamento do fluxo do valor no estado presente</i>	51
3.4. FASE 3 - ANÁLISE DE ACORDO COM MENTALIDADE ENXUTA E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS	53
3.5. FASE 4 – MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR - MFV NO ESTADO FUTURO E SIMULAÇÃO	53
3.6. FASE 5 – VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS.	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1. ESTUDO DE CASO 1: COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR (CMC).....	57
4.1.1. <i>Mapeamento de processo e da qualidade</i>	57
4.1.2. <i>Tempos operacionais</i>	64
4.1.3. <i>Desenvolvimento do modelo computacional para simulação</i>	65
4.1.4. <i>Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado presente</i>	69
4.1.5. <i>Análise do MFV no estado presente de acordo com mentalidade enxuta</i>	72
4.1.6. <i>MFV no estado futuro</i>	78
4.1.7. <i>Simulação e verificação dos resultados do MFV no estado futuro</i>	78

4.2. ESTUDO DE CASO 2: COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR	80
4.2.1. Mapeamento de processo.....	80
4.2.2. Mapeamento da Qualidade	80
4.2.3. Tempos operacionais	86
4.2.4. Desenvolvimento do modelo computacional para simulação	88
4.2.5. Mapa do Fluxo do valor (MFV) no estado presente	89
4.2.6. Análise de acordo com mentalidade enxuta.....	92
4.2.7. Proposição de melhorias: MFV no estado futuro	95
4.2.8. Simulação e análise do MFV no estado futuro	98
4.3. ESTUDO DE CASO 3: COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA (CMM).....	101
4.3.1. Mapeamento do processo.....	101
4.3.2. Mapeamento da qualidade.....	103
4.3.3. Tempos operacionais	110
4.3.4. Desenvolvimento do modelo computacional para simulação	112
4.3.5. Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado presente	113
4.3.6. Análise de acordo com mentalidade enxuta.....	119
4.3.7. Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado futuro	124
5. CONCLUSÕES	129
REFERÊNCIAS	131

RESUMO

Potencial de aplicação da mentalidade enxuta em atividades agrícolas: estudos de caso

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial da implantação dos métodos do modelo de gestão denominado mentalidade enxuta em processo de colheita mecanizada, transferência e transporte de cana de açúcar e da colheita mecanizada e transporte de eucalipto. As avaliações foram realizadas em duas usinas de cana de açúcar, localizadas no Estado do Paraná e São Paulo e em Unidade Florestal para fornecimento de matéria prima à indústria de produção de placas de fibras a partir do eucalipto. O estudo foi desenvolvido com o mapeamento de processo, levantamento de dados para modelagem em sistema computacional para simulação de eventos discretos, mapeamento do fluxo de valor nos estados presente e em cenário proposto com melhorias denominado estado futuro, o qual é simulado para avaliação. Foi identificada a possibilidade de obtenção de melhor desempenho em termos de eficiência e produtividade fazendo uso da avaliação seguindo os conceitos da metodologia, conforme resultados das simulações. Concluiu-se que o emprego dos métodos pode contribuir para obtenção de melhores resultados nas atividades analisadas por meio da redução dos desperdícios.

Palavras-chave: Gestão na agricultura; Produtividade na agricultura; Melhoria contínua; Sustentabilidade

ABSTRACT

Potential application of lean thinking to agricultural activities: case studies

This study aimed to evaluate the potential of the implementation of methods from management model called lean thinking in mechanical harvesting, transfer and transport of sugar cane and mechanical harvest and transport of eucalyptus processes. The evaluations were carried out in two sugar cane mills, located in the state of Paraná and São Paulo and Forestry Unit to supply raw material from eucalyptus to fiberboards production industry. The study was performed by process mapping, data collection for modeling in computer system for discrete event simulation, value stream mapping in present state and proposed improved scenario called future state, which was simulated for evaluation. It has been identified the possibility of obtaining better performance in terms of efficiency and productivity, according to the results of the simulations, making use of the methodology concepts. It has been concluded that the use of the methods could help to achieve better results in the activities analyzed by the waste reduction.

Keywords: Management in agriculture; Agriculture productivity; Continuous improvement; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR.	18
FIGURA 2. CLASSIFICAÇÃO DE TEMPOS OPERACIONAIS E NÃO OPERACIONAIS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS. ADAPTADO DE GONÇALVES ET AL. (1993).....	19
FIGURA 3. MODELO DE MAPA DE PROCESSO MULTIFUNCIONAL.....	30
FIGURA 4. DIAGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÃO (MARIA, 1997)	33
FIGURA 5. FLUXO DA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA IMPLANTAÇÃO DE MENTALIDADE ENXUTA.	35
FIGURA 6. DEFINIÇÕES NO MAPEAMENTO DO PROCESSO.	37
FIGURA 7. DEFINIÇÕES DO MAPA DA QUALIDADE.	38
FIGURA 8. OPERAÇÕES NA COLHEITA MECANIZADA DA CANA DE AÇÚCAR (CMC) E AS RESPECTIVAS COLETAS DE DADOS.	43
FIGURA 9. OPERAÇÕES NA COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA (CMM) E AS RESPECTIVAS COLETAS DE DADOS.	45
FIGURA 10. DIAGRAMA PARA MAPEAMENTO DO FLUXO DO VALOR DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR (CMC).....	51
FIGURA 11. DIAGRAMA PARA MAPEAMENTO DO FLUXO DO VALOR DA COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA (CMM).	52
FIGURA 12. MAPA DO PROCESSO COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR – ESTUDO DE CASO 1.....	58
FIGURA 13. MAPA DA QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE COLHEITA – ESTUDO DE CASO 1.	60
FIGURA 14. MAPA DA QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE TRANSBORDO – ESTUDO DE CASO 1.	62
FIGURA 15. MAPA DA QUALIDADE DO TRANSPORTE – ESTUDO DE CASO 1.....	63
FIGURA 16. REPRESENTAÇÃO DE HISTOGRAMA DOS DADOS DE COLHEITA REALIZADA EM MÓDULO DE ANÁLISE EM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS – ESTUDO DE CASO 1.....	65
FIGURA 17. GRÁFICO DE CORRELAÇÃO PARA O NÚMERO DE OBSERVAÇÕES ENTRE LOTES NA SIMULAÇÃO INICIAL.....	66
FIGURA 18. INTERVALOS DE CONFIANÇA PARA A VARIÁVEL DE CONTROLE EM SIMULAÇÕES COM TEMPOS EQUIVALENTES A 90 DIAS, 227 DIAS E 120 DIAS COM 10 REPLICAÇÕES.	67
FIGURA 19. INDICADORES EM UMA DAS REPLICAÇÕES DO MAPEAMENTO DO FLUXO DO VALOR NO ESTADO PRESENTE.....	69
FIGURA 20. BALANCEAMENTO DO PROCESSO – ESTUDO DE CASO 1.	74
FIGURA 21. MAPA DO PROCESSO FRENTE DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR – ESTUDO DE CASO 2.	81
FIGURA 22. MAPA DA QUALIDADE DE FRENTE DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR NA ETAPA COLHER – ESTUDO DE CASO 2.....	82
FIGURA 23. MAPA DA QUALIDADE DE FRENTE DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR NA ETAPA TRANSBORDO – ESTUDO DE CASO 2.....	83
FIGURA 24. MAPA DA QUALIDADE DE FRENTE DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA DE AÇÚCAR NA ETAPA TRANSPORTE – ESTUDO DE CASO 2.....	85

FIGURA 25. REPRESENTAÇÃO DE HISTOGRAMA DOS DADOS DE COLHEITA REALIZADA EM MÓDULO DE ANÁLISE EM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS – ESTUDO DE CASO 2.....	86
FIGURA 26. INTERVALO DE CONFIANÇA PARA TEMPO DE CARREGAMENTO DOS CAMINHÕES.....	88
FIGURA 27. MFV NO ESTADO PRESENTE – INDICADORES APÓS SIMULAÇÃO EM UMA REPLICAÇÃO.....	89
FIGURA 28. BALANCEAMENTO DO PROCESSO – ESTUDO DE CASO 2.....	93
FIGURA 29. MAPA DO PROCESSO COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA – ESTUDO DE CASO 3.....	102
FIGURA 30. MAPA DA QUALIDADE DA ETAPA DE CORTE E DERRUBADA – ESTUDO DE CASO 3.....	104
FIGURA 31. MAPA DA QUALIDADE DA ETAPA DE TRAÇAMENTO - ESTUDO DE CASO 3.	105
FIGURA 32. MAPA DA QUALIDADE DA ETAPA DE MOVIMENTAÇÃO OU BALDEIO - ESTUDO DE CASO 3.	106
FIGURA 33. MAPA DA QUALIDADE DA ETAPA DE CARREGAMENTO FLORESTAL - ESTUDO DE CASO 3.	108
FIGURA 34. MAPA DA QUALIDADE DA ETAPA DE TRANSPORTE - ESTUDO DE CASO 3.	109
FIGURA 35. HISTOGRAMA E EXPRESSÃO REPRESENTATIVA DOS DADOS DA OPERAÇÃO DE CORTE E DERRUBADA DE ÁRVORES.....	112
FIGURA 36. INTERVALO DE CONFIANÇA PARA TEMPO MÉDIO DE DESCARREGAMENTO DOS A30S.....	112
FIGURA 37. RESULTADO DE UMA DAS REPLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO DO MFV NO ESTADO PRESENTE.....	117
FIGURA 38. . BALANCEAMENTO DO PROCESSO NO ESTADO PRESENTE – ESTUDO DE CASO 3.....	120
FIGURA 39. BALANCEAMENTO DO PROCESSO COM OS CONCEITOS DA MENTALIDADE ENXUTA – ESTUDO DE CASO 3.	121
FIGURA 40. BALANCEAMENTO DO PROCESSO DE ACORDO COM A OPÇÃO 2 – ESTUDO DE CASO 3.....	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS OPERACIONAIS E NÃO OPERACIONAIS. ADAPTADO DE (GONÇALVES ET AL., 1993).....	20
TABELA 2. MÉTODOS DE COLETA DE DADOS DO PROCESSO DE COLHEITA MECANIZADA DA CANA DE AÇÚCAR (CMC).	44
TABELA 3. MÉTODOS DE COLETA DOS DADOS DO PROCESSO DE COLHEITA MECANIZADA DE MADEIRA (CMM).	47
TABELA 4. OITO PONTOS DE ANÁLISE DO MFV (ROTHER; SHOOK, 2007)	53
TABELA 5. FUNÇÕES DEFINIDAS PARA AS ATIVIDADES OPERACIONAIS DO PROCESSO.....	65
TABELA 6. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO: MÉDIA PRODUÇÃO DIÁRIA POR COLHEDORA. TESTE-T: DUAS AMOSTRAS PRESUMINDO VARIÂNCIAS DIFERENTES	68
TABELA 7. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS PARA A ETAPA DE COLHEITA.....	70
TABELA 8. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS PARA A ETAPA DE TRANSBORDO.	70
TABELA 9. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS PARA A ETAPA DE TRANSPORTE.	71
TABELA 10. INDICADORES APONTADOS NO MAPA DE FLUXO DO VALOR NO ESTADO PRESENTE.	72
TABELA 11. PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O PROCESSO – ESTUDO DE CASO 1.	77
TABELA 12. RESULTADOS COMPARATIVOS DO MFV NOS ESTADOS PRESENTE E FUTURO..	78
TABELA 13. FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE REFERENTES AOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE COLHEITA MECANIZADA.	87
TABELA 14. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO: MÉDIA PRODUÇÃO DIÁRIA. TESTE-T COM DUAS AMOSTRAS PRESUMINDO VARIÂNCIAS EQUIVALENTES	89
TABELA 15. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS DAS ATIVIDADES E OCORRÊNCIAS NA ETAPA DE COLHEITA.....	90
TABELA 16. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS DAS ATIVIDADES E OCORRÊNCIAS NA ETAPA DE TRANSBORDO.	90
TABELA 17. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS DAS ATIVIDADES E OCORRÊNCIAS NA ETAPA DE TRANSPORTE.....	91
TABELA 18. INDICADORES DE PROCESSO NO MFV NO ESTADO PRESENTE.....	92
TABELA 19. SUMÁRIO DAS PROPOSIÇÕES DE MELHORIA DO PROCESSO – ESTUDO DE CASO 2.	97
TABELA 20. RESULTADOS DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DO MFV NO ESTADO PRESENTE E FUTURO.....	99
TABELA 21. FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE ATRIBUÍDAS ÀS OPERAÇÕES DO PROCESSO COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA.	111
TABELA 22. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO: MÉDIA PRODUÇÃO DIÁRIA. TESTE-T: DUAS AMOSTRAS PRESUMINDO VARIÂNCIAS DIFERENTES.....	113
TABELA 23. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE CORTE E DERRUBADA.....	114
TABELA 24. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE TRAÇAMENTO..	114
TABELA 25. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE CARREGAMENTO.	115
TABELA 26. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE BALDEIO.....	115

TABELA 27. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE TRANSPORTE POR A30.....	116
TABELA 28. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE TRANSPORTE CAMINHÕES.....	116
TABELA 29. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMPOS RELACIONADOS À ETAPA DE DESCARREGAMENTO.....	117
TABELA 30. RESULTADO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DO MFV NO ESTADO PRESENTE.....	118
TABELA 31. TEMPOS MÉDIOS DAS PERDAS NO ESTADO PRESENTE.....	122
TABELA 32. MELHORIAS PROPOSTAS AO PROCESSO DE COLHEITA MECANIZADA DA MADEIRA (CMM).	125
TABELA 33. COMPARAÇÃO DE INDICADORES DO MFV NOS ESTADOS PRESENTE E FUTURO.	126
TABELA 34. NÚMERO DE MÁQUINAS NO ESTADO PRESENTE E FUTURO EM FUNÇÃO DA MELHORIA DAS EFICIÊNCIAS DO ESTADO FUTURO EM RELAÇÃO AO ESTADO PRESENTE.	127

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES NA ETAPA DE COLHEITA (PRIMEIRA PARTE) – ESTUDO DE CASO 1.	132
ANEXO B.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES NA ETAPA DE COLHEITA (CONCLUSÃO) – ESTUDO DE CASO 1.	132
ANEXO C.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES NA ETAPA DE TRANSBORDO – ESTUDO DE CASO 1.	132
ANEXO D.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES NA ETAPA DE TRANSPORTE – ESTUDO DE CASO 1.	132
ANEXO E.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DA COLHEDORA 1 – ESTUDO DE CASO 2.	132
ANEXO F.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DA COLHEDORA 2 – ESTUDO DE CASO 2.	132
ANEXO G.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DA COLHEDORA 3 – ESTUDO DE CASO 2.	132
ANEXO H.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DA ETAPA DE TRANSBORDO – ESTUDO DE CASO 2.	132
ANEXO I.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DA ETAPA DE TRANSPORTE – ESTUDO DE CASO 2.	132
ANEXO J.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DAS GARRAS CARREGADORAS E DESCARREGADORAS – ESTUDO DE CASO 3.	132
ANEXO K.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DOS <i>FELLER-BUNCHERS</i> – ESTUDO DE CASO 3.	132
ANEXO L.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DOS <i>FORWARDERS</i> – ESTUDO DE CASO 3.	132
ANEXO M.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DAS GARRAS TRAÇADORAS – ESTUDO DE CASO 3.	132
ANEXO N.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DOS CAMINHÕES A30 – ESTUDO DE CASO 3.	132
ANEXO O.FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA INTERRUPÇÕES DOS CAMINHÕES TERCEIRIZADOS – ESTUDO DE CASO 3.	132

1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem o grande desafio de suprir de alimentos a população mundial, uma demanda crescente. Assim, a necessidade de um aumento da produtividade é um fator relevante devido às restrições para expansão das terras agriculturáveis e pressões pela sustentabilidade dos recursos naturais.

A produtividade agrícola é muitas vezes associada à produtividade da terra, massa de produto colhido por área cultivada, mas deve-se considerar fundamentalmente a produtividade global ou sistêmica, como definida pelo Centro de Produtividade do Japão (JPC – *Japan Productivity Center*). No caso, a produtividade global sistêmica significa minimizar cientificamente o uso de recursos materiais, mão de obra, equipamentos etc., para reduzir custos de produção, expandir mercados, aumentar o número de pessoas empregadas, lutar por aumentos reais de salários e pela melhoria do padrão de vida no interesse comum do capital, trabalho e consumidores. Pode-se afirmar que uma produtividade alta da terra não significa que uma atividade agrícola é eficiente. A produtividade global ou sistêmica integra outros fatores, inclusive a eficiência da gestão.

A gestão é considerada a atividade que fixa as metas a alcançar por meio do planejamento, analisa, conhece e soluciona problemas, organiza recursos financeiros e tecnológicos. Sem uma gestão adequada as possibilidades do surgimento dos desperdícios em uma atividade são grandes, sendo o desperdício definido como tudo que se faz que não agrega valor ao produto ou serviço. Na agricultura, os dados referentes aos desperdícios indicam valores da ordem de 30% segundo a FAO (2011).

O modelo de gestão conhecido como mentalidade enxuta, que se iniciou na indústria automobilística e se expandiu para outros setores, poderia contribuir com a melhoria da produtividade global nas atividades agrícolas, pois tem obtido bons resultados na utilização de seus métodos em áreas como saúde, educação, serviços e organizações públicas, dentre outras. A mentalidade enxuta não tem como objetivo a melhoria de eficiência dos processos por meio de melhoria nos tempos produtivos, mas na redução ou eliminação dos desperdícios, não relacionados somente à matéria prima e aos tempos operacionais.

A avaliação do potencial de utilização de métodos da mentalidade enxuta, portanto, pode ser significativa para a agricultura. O possível sucesso da avaliação seria capaz de incentivar seu uso que, em associação com os avanços tecnológicos já existentes, ampliaria o incremento de produtividade do setor. Todavia, devido as características específicas da agricultura, e suas múltiplas possibilidades, seria necessária uma abordagem fragmentada, na qual seja viável uma observação direta do início e do resultado final da atividade.

Desta forma, este trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial de implantação dos métodos oriundos do modelo de gestão mentalidade enxuta na atividade de colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC) e da madeira (CMM).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Observa-se na agricultura um crescente uso da mecanização nos últimos 40 anos conforme Vieira Filho (2010), o que tem resultado em ganhos de produtividade. O início propriamente da utilização da mecanização da colheita da cana de açúcar se dá no início dos anos 1970s. Ela foi introduzida principalmente devido aos fatores relacionados com a redução da mão de obra e busca pelo aumento da produtividade. A colheita constitui aproximadamente 50% do custo da produção agrícola, mas não se trata simplesmente de substituição da mão de obra, pois atinge todo o sistema, desde o corte à entrega da cana colhida na área industrial da Usina (RIPOLI; PARANHOS, 1987).

Na área florestal, especificamente da exploração da madeira do eucalipto, sabe-se que os primeiros pés de eucalipto no Brasil foram plantados no Estado do Rio Grande do Sul, em 1868. Na primeira década do século 20, a madeira proveniente do eucalipto passou a alimentar as locomotivas das ferrovias paulistas. Na década de 1950, o Brasil já tinha a maior área plantada de eucalipto do mundo, com florestas homogêneas e eficientes. Atualmente o eucalipto tem importância na geração de energia, produção de placas, produção de papel, recuperação de áreas florestais e outras aplicações, destacando-se as espécies *Eucalyptus saligna*, o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla* (QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

A partir de 1980 se iniciou no Brasil a utilização de tratores derrubadores (*feller-buncher*) de tesoura hidráulica e de serra, arraste com tratores agrícolas adaptados com pinça, chamados miniskidders, com o objetivo do aumento da produtividade nestas atividades e redução dos riscos à mão de obra (MALINOVSKI, 1996).

2.1. Colheita mecanizada da cana de açúcar (CMC)

O sistema de colheita mecanizada típico, atual, se divide em subsistema de corte realizado por colhedora auto propelida, subsistema de carregamento e subsistema de transporte. O carregamento é realizado em carreta rebocada por trator ou por meio de um caminhão, conjunto denominado transbordo, que trabalha em conjunto com a colhedora, se desloca e transfere a carga para caminhão canavieiro quando o carregamento atinge sua capacidade, reiniciando o ciclo após a transferência. O caminhão se desloca para descarregamento na indústria, quando tem sua capacidade completada, descarrega e retorna ao campo para reinício do ciclo (Figura 1).

Figura 1. Sistema de colheita mecanizada de cana de açúcar.

Com respeito aos aspectos ambientais, o protocolo agroambiental no Estado de São Paulo, estipulou para o ano de 2014 a erradicação da queima da cana de açúcar para realização da colheita em áreas mecanizáveis, e as demais áreas o prazo é 2017 (TORQUATO; RAMOS, 2012). De acordo com Fredo et al., (2015), o Estado de São Paulo tem um índice de mecanização de 84,8% na área cultivada com cana de açúcar.

O incremento de 181% da área colhida com colheita mecanizada da cana de açúcar no Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro, entre as safras 2006/07 e 2011/12 (TORQUATO; RAMOS, 2012), não tem contribuído para aumento da produtividade de maneira significativa. Nas últimas 10 safras no Brasil houve um aumento da produção de 41%, um acréscimo da área de cultivo de 40%, enquanto que a produtividade aumentou apenas 3% (CONAB, 2016).

Conforme mencionado por Buainain e Vieira (2009), a gestão na cultura da cana de açúcar é melhor do que aquela aplicada às outras culturas, e isso é constatado pela menor variação na amplitude da produtividade ao longo dos períodos registrados. Além do tipo de solo, condições de clima, discriminação varietal, técnica e tratamentos culturais, o aspecto da gestão na colheita mecanizada tem sido abordado em estudos para obtenção da melhoria da produtividade, os quais podem ser atribuídos aos estudos com respeito ao desempenho do maquinário, ao planejamento do processo e aos aspectos da qualidade.

2.1.1. Influência da máquina na produtividade

A própria colhedora é um fator importante na produtividade da colheita, pois dependendo dos seus respectivos detalhes construtivos pode haver variação no resultado da colheita, quantitativamente e qualitativamente, tornando importante o conhecimento do desempenho da máquina. Para esse fim são executados testes

padronizados, como nos resultados de comparativos entre dois modelos de colhedora, as relações de consumo de combustível, perdas de matéria prima, velocidade de deslocamento, eficácia de manipulação e outros parâmetros, em que pôde-se afirmar a existência de relação entre velocidade de deslocamento, consumo e perdas (SCHMIDT JUNIOR, 2011). A avaliação padronizada, também foi realizada, em estudo de desempenho efetivo e econômico de uma colhedora em espaçamento duplo alternado, em que foi identificada a velocidade ideal de deslocamento para o respectivo espaçamento, relações de consumo de combustível e perdas para determinado modelo de colhedora (ROSA, 2013). O mesmo direcionamento se dá no conhecimento de recursos adicionados às máquinas, considerado na avaliação do desempenho do sistema de piloto automático apoiado no sistema de posicionamento global (*Global positioning system* – GPS) em comparação a sistema manual (BAIO; MORATELLI, 2013), os autores concluíram que o sistema automático tem exatidão cinco vezes do que a obtida em condução manual, porém sem aumento da eficiência operacional. A condição inicial da máquina deve ser mantida por meio de um programa de manutenção eficaz, abordagem dada em desenvolvimento de sistema computacional para tomada de decisões, que agiliza a priorização das ações de manutenção de cinco colhedoras operando na região de Ribeirão Preto, SP (TOMAZELA; DANIEL; FERREIRA, 2010).

Gonçalves et al. (1993), diante da necessidade de se monitorar o desempenho de máquinas agrícolas de forma padronizada, criaram uma classificação para os tempos operacionais e não operacionais, possibilitando o cálculo das eficiências relacionadas ao uso de máquinas ou equipamentos agrícolas (Figura 2). A tabela 1 apresenta os conceitos utilizados para as respectivas classificações de tempo.

Figura 2. Classificação de tempos operacionais e não operacionais de máquinas agrícolas. Adaptado de Gonçalves et al. (1993).

Tabela 1. Classificação dos tempos operacionais e não operacionais. Adaptado de (GONÇALVES et al., 1993)

Classificação	Definições	Observações
Tempos acessórios (TAC)	Tempos de máquina ativa despendidos com operações auxiliares obrigatórias.	Interesse em medições instantâneas. Exemplo: manobras de cabeceira.
Tempos auxiliares (TAX)	Tempos de máquina inativa despendido com funções auxiliares obrigatórias.	Exemplos apresentados no texto: abastecimento de insumos e regulagens.
Tempos de inaptidão (TIN)	Equipamento apto, mas não opera devido condições de solo ou clima	Exemplo: chuva.
Tempos perdidos (TPE)	Equipamento disponível, mas não opera por problemas gerenciais.	Exemplo: falta de combustível, atrasos de material.
Tempos de manutenção (TMN)	Tempos relacionados às atividades de manutenção corretiva ou preventiva.	
Tempo produtivo líquido (TPRL)	Tempo em que a máquina realiza somente a operação a qual foi projetada.	Exemplo: colhendo.
Tempo produtivo (TPR)	Tempo produtivo líquido acrescentado dos tempos acessórios	
Tempo de utilização (TUT)	Tempo produtivo acrescentado dos tempos auxiliares	
Tempo de aptidão (TAP)	Tempo de utilização acrescentado do tempo de inaptidão	
Tempo disponível (TDP)	Tempo de aptidão acrescentado dos tempos perdidos	
Jornada de trabalho (JT)	Tempo programado para trabalho	
Tempo total (TT)	Jornada de trabalho acrescentada do tempo não programado	

2.1.2. Qualidade na colheita mecanizada

Elemento relevante na produtividade da colheita mecanizada da cana de açúcar, a qualidade no processo é resultado da influência da máquina em sua relação com o solo e com a planta. Objetiva-se com o controle da qualidade, nesse processo, a redução das perdas de campo, a melhor qualidade físico-química da matéria prima e aumento da durabilidade do canavial.

A qualidade pode ser monitorada, controlada e ações corretivas tomadas com a utilização do CEP (controle estatístico do processo). A título de exemplo, a partir de cartas de controle estatístico, foi avaliada uma proposta de dispositivo semiautomático de controle da altura de corte da base em colheita mecanizada, onde se definiu que não havia controle estatístico do processo, mesmo com a utilização do dispositivo (SALVI; MATOS; MILAN, 2007). Assim, como também foi demonstrado que não havia controle estatístico do processo de colheita mecanizada em estudo realizado em propriedades na região de Jaboticabal, SP (SILVA et al., 2011). Porém, também na mesma região, pôde ser verificado que as perdas por rebolo fragmentado e as perdas por toco estavam controladas estatisticamente e que demais perdas não estavam, além de não haver diferença significativa, ao nível de

5%, quanto aos danos à soqueira entre o trabalho realizado nos períodos noturno e diurno de colheita (NORONHA et al., 2011).

As perdas visíveis na colheita mecanizada, cujo valor médio é de 5%, são definidas por colmos inteiros ou frações, rebolos e tocos deixados no campo após a passagem da colhedora e representam parte da perda da produtividade (NEVES; MAGALHÃES; OTA, 2004). Avaliando as perdas visíveis em função da velocidade de deslocamento da colhedora de duas linhas, verificou-se que a velocidade de deslocamento não influenciou nas perdas visíveis e que a colhedora pode operar à velocidade média de 4,00 km h⁻¹ (CREPALDI et al., 2013), conclusão similar encontrada em trabalho realizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro (MANHÃES et al., 2014). Todavia, em estudo semelhante executado na região de Barretos, SP, o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora fez com que as perdas visíveis fossem aumentadas (SEGATO; DAHER, 2011). Observa-se que as perdas visíveis do tipo lasca de cana estão relacionadas com a limpeza do extrator primário da colhedora e a velocidade do ventilador (NEVES; MAGALHÃES; OTA, 2004). As perdas visíveis são, também, resultado da falta de sincronismo entre o transbordo e a colhedora, de acordo com estudo efetuado por Magalhães, Baldo e Cerri (2008), em teste de dispositivo que alerta os operadores de suas posições relativas, por meio de sensores de ultra-som e microprocessador. Para as perdas invisíveis, caracterizadas pela dificuldade de serem contabilizadas no campo, foi identificado o índice de 10% e eficiência de limpeza de máquina de 87%, a qual pode estar relacionada com o fluxo de ar nos exaustores (NEVES et al., 2006). O monitoramento destas perdas possibilita o controle e redução de seus índices e o planejamento de ações corretivas.

2.1.3. Planejamento na colheita mecanizada

O planejamento é a tomada de decisão antecipada, algo que podemos fazer antes de agir (DRUCKER, 2006). No processo de colheita mecanizada, parte do planejamento envolve a relação com os aspectos climáticos (EVERINGHAM et al., 2002). Bezuidenhout e Singels (2007) analisaram sistema computacional que utiliza dados da previsão do clima para auxiliar no planejamento da colheita na África do Sul, concluindo que os acionistas locais podem ter aumento da lucratividade com este sistema. A programação de colheita adequada, entre fornecedores de cana para suprimento da área industrial, pode ser melhorada com adoção de sistema computacional em que parâmetros da cana de açúcar relacionados com a respectiva área de origem direcionam a programação de fornecimento (LE GAL et al., 2008). Para solução do problema de se definir o local correto para transferência da carga de cana de açúcar colhida em função dos custos de transporte, Pathumnakul, Sanmuang e Eua-Anant (2012) desenvolveram uma versão alterada do método conhecido como FCM (*Fuzzy c-means*), obtendo custos menores de transporte da cana de açúcar colhida. As decisões relacionadas ao planejamento de colheita são auxiliadas com a adoção de sistemas avançados de planejamento, que integram as predições de produtividade de campo, experiência entre os produtores e incertezas inerentes à cultura (BOCCA; RODRIGUES; ARRAES, 2015).

A pesquisa operacional, considerada uma ciência da gestão, é um encaminhamento científico para se tomar decisões para melhor planejar e operar um sistema sob restrições (WINSTON; GOLDBERG, 2004). Para o planejamento do sistema de colheita mecanizada, a abordagem realizada pela pesquisa operacional é válida e útil. Higgins (2006) desenvolveu dois modelos meta-heurísticos para programação de transporte com a finalidade de redução de filas de caminhões no descarregamento de cana de açúcar, com possibilidade de se realizar a diminuição do número de veículos, reduzindo os custos do processo. Aplicando métodos de programação linear, foi obtida a redução dos custos do transporte entre as áreas de cultivo e entrega em usinas cubanas, modelo que também se

mostrou útil para o planejamento diário nas usinas participantes do estudo (LOPEZ MILAN; FERNANDEZ; ARAGONES, 2006). Fazendo uso da mesma abordagem, foi alcançado o objetivo de se garantir o fornecimento contínuo de cana de açúcar a grupo de usinas na Venezuela (GRUNOW; GÜNTHER; WESTINNER, 2007). Referindo-se às perspectivas de um planejamento sob o ponto de vista tático e operacional, Jena e Poggi (2013) desenvolveram um modelo matemático considerando o momento ótimo da colheita, executado em função das características de maturação da cana de açúcar no campo, identificando, em estudo de caso, um aumento da lucratividade em 2,6%.

2.2. Colheita mecanizada da madeira (CMM)

Os sistemas de colheita florestal podem ser definidos como um conjunto de atividades que permitem o fluxo de madeira, podem variar de acordo com o relevo, rendimento volumétrico do povoamento, tipo de floresta, uso final da madeira, máquinas, equipamentos, e recursos disponíveis. Muitos trabalhos adotam o critério quanto a forma da madeira na fase de extração (MACHADO; SILVA, 2008):

- sistema de toras curtas (*cut to length*): as árvores derrubadas são processadas no local e transportadas para margem da estrada ou pátio intermediário em pequenas toras;
- sistema de toras compridas (*tree length*): as árvores derrubadas são semiprocessadas no local e transportadas para margem da estrada ou pátio intermediário em forma de fuste, com mais de seis metros comprimento;
- sistema de árvores inteiras (*full tree*): as árvores derrubadas e transportadas para margem da estrada ou pátio intermediário, onde são processadas;
- sistema de árvores completas (*whole tree*): as árvores são arrancadas com parte do sistema radicular e transportadas para margem da estrada ou pátio intermediário, onde são processadas;
- sistema de cavaqueamento (*chipping*): as árvores derrubadas são processadas no local, levando os cavacos para pátio de estocagem ou diretamente para indústria.

A colheita da madeira, abrange as fases de derrubada, desganhamento, traçamento, extração e carregamento. Com exceção da derrubada, as fases podem ter outra ordem. Os principais fatores que determinam a produtividade e custos de um sistema de colheita da madeira, são os aspectos legais, aspectos administrativos, aspectos de ambiente físico, aspectos de povoamento, aspectos operacionais e aspectos econômico-financeiro (LIMA; LEITE, 2008). No sistema de toras curtas mecanizado os equipamentos mais utilizados são o *harvester* ou *feller-buncher* para o corte e derrubada, o *forwarder* para extração e carregador com grua. No sistema mecanizado de toras longas, o corte é executado por *feller-buncher*, o arraste por *skidder*, o desganhamento por grade, o traçamento por garras traçadoras e carregamento com grua. (MALINOVSKI; CAMARGO; MALINOVSKI, 2008).

O *feller-buncher* se trata de um trator derrubador-acumulador, consistindo de um trator de pneus ou esteiras com implemento frontal que faz o corte, acumula as árvores, formando um feixe que é depositado no solo. O implemento de corte pode ser do tipo sabre, tesoura ou disco. O *harvester* é um trator florestal capaz de derrubar individualmente, desgallar, traçar e, às vezes, descascar as árvores. O *slingshot* consiste de uma máquina base na qual foi adaptado o cabeçote de corte denominado *slingshot*, com capacidade de operação com várias árvores simultaneamente (SANT'ANNA, 2008).

A extração ou baldeio é a movimentação da madeira do local de corte até a estrada, carregador ou pátio intermediário, sendo executada por *skidders* ou *forwarders*. Os *skidder* são utilizados para extração no sistema de toras

longas em conjunto com os *feller-bunchers*, podem ser de esteiras rígidas, usados em aplicações que exigem muita potência, flexíveis, utilizados onde se deseja maior velocidade. Os *skidders* com cabo são tratores articulados de pneus, tração nas quatro rodas e sistema de guincho na parte traseira. No *skidder* com garra (*grapple skidder*), o sistema de guincho é substituído por garra hidráulica que realiza o carregamento, em condições favoráveis têm alta produtividade. No *skidder* com pinças invertidas (*clambunk skidder*) a garra de abertura inferior é substituída por uma garra de abertura superior com a finalidade de prender as toras colocadas ali por um braço hidráulico com grua, podendo movimentar toras dispersas. Os *forwarders* são tratores florestais auto carregáveis, na maioria, articulados, caracterizado pela capacidade de superar condições adversas no campo (SEIXAS, 2008).

Os carregadores mecânicos com pneus são rápidos, mas necessitam de suporte do solo, se deslocam até o local em que se encontra a madeira com a grua vazia, movimentam-se com a garra carregada em direção ao veículo de transporte e nele depositam o feixe. Os carregadores mecânicos com esteira operam mais facilmente em solos com baixa capacidade de suporte e possuem braços maiores, mas são mais lentos, o ciclo de trabalho é semelhante ao carregador de pneus. O descarregador móvel é uma máquina sobre pneus com braço e grua hidráulica, prende a carga pela parte de cima no veículo de transporte, faz a movimentação com a carga presa até onde será depositada (MINETTE et al., 2008).

A produtividade dos equipamentos da colheita da madeira se refere aos aspectos operacionais, aspectos ambientais, administrativos e do povoamento em si. No corte, a produtividade depende do volume individual das árvores, modelo do equipamento e tempo de experiência e técnica do operador. Para a retirada de madeira se acrescenta a distância média. A produção das máquinas depende da disponibilidade mecânica e da eficiência, fatores importantes para execução de um bom planejamento do tempo de execução dos trabalhos, sendo que a manutenção e melhoria da produtividade é o principal desafio das empresas (MALINOVSKI; CAMARGO; MALINOVSKI, 2008).

Os trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos na perspectiva de se ter a compreensão dos fatores que podem melhorar a produtividade e eficiência do sistema de colheita mecanizada da madeira, mais especificamente do eucalipto. Os estudos passam pela gestão do processo sob o ponto de vista do acompanhamento e desenvolvimento da operação das máquinas, planejamento de operações, monitoramento de desempenho e ações corretivas. Por esse ângulo, em processo de colheita semimecanizada do eucalipto para obtenção da celulose, foi realizado estudo do tempos do processo de colheita e processamento de madeira, em que foi definida a eficiência operacional de 72,8%, embora considerada razoável para os padrões daquele tipo de operação, poderia ser melhorada, pois os tempos de atividades, que seriam controláveis, foram muito longos, e que com ajuste de procedimentos, treinamento e interação do encarregado de campo com as equipes poderiam ser reduzidos (ALVES; FERREIRA, 1998).

2.2.1. Influência da máquina na produtividade

Para se obter a melhor produtividade necessita-se conhecer o desempenho dos equipamentos relacionados à colheita mecanizada de madeira sob as várias condições que se apresentam de povoamento, relevo e sistema utilizado. Assim os estudos de avaliação de máquinas fornecem subsídios para planejamento das operações e dimensionamento do número necessário de equipamentos para atendimento às demandas.

Em avaliação de um equipamento *slingshot* em três diferentes subsistemas de colheita de eucalipto, sendo 2 subsistemas com a utilização do equipamento *feller-buncher* para corte e *slingshot* para processamento, diferenciados pela posição do feixe depositados a 45° e 30° respectivamente, o terceiro subsistema utilizando o *slingshot* para corte e

processamento, foi concluído que a melhor produtividade, menor custo e menor gasto energético ocorreu no primeiro subsistema (SOUZA et al., 2004).

Um equipamento *forwarder* foi avaliado em três subsistemas de colheita de eucalipto, em que, no primeiro subsistema, o corte e derrubada foi realizado por *feller-buncher*, o segundo subsistema com corte realizado por *slingshot* e o terceiro com corte semimecanizado, sendo concluído que a melhor produtividade, menor custo e desempenho energético foi encontrada no segundo subsistema (MINETTE et al., 2004). A extração de pinus foi avaliada técnica e economicamente por (OLIVEIRA; LOPES; FIEDLER, 2009), a eficiência operacional encontrada foi de 71,0% para um equipamento *forwarder*, sendo a manutenção, abastecimento, verificação de máquina e deslocamentos de máquina, as interrupções operacionais mais observadas e lanches, refeições e chuva, as interrupções não operacionais mais observadas, a produtividade média de $31,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o custo operacional médio de $6,84 \text{ R\$ m}^{-3}$ e rendimento energético médio de $2,04 \text{ g KW}^{-1} \text{ m}^3$. Santos et al. (2013) avaliaram o *clambunk skidder* para extração de madeira de eucalipto no sistema de árvores inteiras (*full tree*), obtendo a eficiência operacional de 78,3%, disponibilidade mecânica de 87,38%, produtividade média de $80,25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, definindo-se relação linear entre a distância percorrida pela máquina e a produtividade, custo de extração $\text{R\$}4,91 \text{ m}^{-3}$ para uma distância média de extração de 241,23 m.

Em estudo técnico e econômico da colheita florestal de eucalipto com *feller-buncher*, duas posições de tombamento, 45° e 90° foram analisadas, em que não foram encontradas diferenças significativas, ao nível de 5%, na produtividade, custos e rendimento energético, porém foi recomendado a utilização da posição a 45° , pois esta proporciona maior facilidade para o enleiramento e extração, operação que ocorre imediatamente após (NASCIMENTO et al., 2011). Para avaliar técnica e economicamente um *feller-buncher* em sistema de colheita de árvores inteiras (*full tree*) de eucalipto, um delineamento foi desenvolvido com dois subsistemas, caracterizados pelos alcances de grua, 8,83m e 9,83m, com três condições operacionais de número de linhas de colheita e posição de tombamento dos feixes, concluindo-se que, operacionalmente, economicamente e em relação ao rendimento energético, a melhor situação se dá no primeiro subsistema, na condição de 4 linhas posicionadas a 45° (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2010b).

Em sistema de colheita de toras curtas (*cut to length*) de eucalipto, Simões, Fenner e Esperancini (2014) avaliaram a produtividade e custos de um *feller-buncher* e um processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte, por meio de um estudo de tempos e movimentos e outros indicadores em cinco parcelas experimentais, comparadas ao nível de significância de 5%. Para o *feller-buncher* a eficiência operacional média foi de 94,61% sem diferença significativa entre as parcelas, produtividade média de $118,47 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ sem diferença significativa entre as parcelas, custo médio de $0,72 \text{ US\$ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com diferença significativa na parcela três com custo de $0,66 \text{ US\$ m}^3 \text{ h}^{-1}$, e rendimento energético médio $1,79 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$, sem diferença significativa entre as parcelas. Para o processador florestal foi encontrada a eficiência operacional média de 95,45%, produtividade média de $137,80 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, custo médio de $0,55 \text{ US\$ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e rendimento energético médio de $1,38 \text{ g kW}^{-1} \text{ m}^3$, todos os indicadores sem diferença significativa entre as parcelas.

No caso dos *harvesters*, em avaliação técnica e econômica em sistema de colheita de toras curtas (*cut to length*) de eucalipto, executada em cinco parcelas experimentais com condições homogêneas de povoamento, solo, relevo, clima local, máquina e operador, foi encontrada uma produtividade média de $41,46 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, custo florestal médio de $2,23 \text{ US\$ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e rendimento energético médio de $4,70 \text{ g KW}^{-1} \text{ m}^3$, com diferenças entre as primeira e quarta parcela ao nível de confiança de 95%, com o combustível exercendo o maior impacto sobre os custos (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2010a). Em avaliação de dois modelos de *harvesters*, PC-200 LC e PC-228 SHO, da marca *Komatsu*, em sistema de colheita do tipo toras curtas (*cut to length*) de eucalipto, no período de seis

meses pelo método do censo, obteve-se com base nas produtividades de 18,57 e 19,88 m³ h⁻¹, respectivamente, os custos totais de 156,95 R\$ h⁻¹ e 168,84 R\$ h⁻¹, sendo que os itens que mais influenciaram foram: combustível, manutenção e reparos e depreciação (SILVA et al., 2014).

2.2.2. Avaliação da produtividade no sistema de colheita da madeira

Abordando o sistema de colheita como um todo, observa-se que podem existir variáveis relacionadas aos subsistemas que se interagem e influenciam no resultado geral. Bramucci e Seixas (2002) identificaram a influência de diversas variáveis que influenciam a produtividade dos *harvesters* na colheita de eucalipto, por meio da compilação de dados oriundos de bancos de dados de quatro empresas florestais. As produtividades coletadas foram relacionadas com as variáveis disponíveis, sendo obtidos modelos matemáticos de predição da produtividade nos sistemas sem descascamento e com descascamento. Foram utilizadas regressão lineares múltiplas com as variáveis: volume médio das árvores, diâmetro aparente médio das árvores, altura média das árvores, volume por hectare e tipo de equipamento utilizado. O volume médio das árvores foi identificado como o fator de maior influência na produtividade dos *harvesters*.

Para avaliar um sistema de colheita florestal de árvores inteiras (*full tree*) em povoamento de eucalipto, Rocha et al. (2009) realizaram análise técnica e econômica em sistema de colheita constituído por um *feller-buncher*, um *skidder*, uma garra-traçadora e um carregador florestal. Para o *feller-buncher* foi encontrada uma produtividade média de 47,3 m³ h⁻¹, eficiência operacional de 35,6%, custo operacional de 494,56 R\$ h⁻¹, custo de produção 10,32 R\$ m⁻³. Para o *skidder* a eficiência operacional foi de 73%, custo operacional de 181,27 R\$ h⁻¹ e custo de produção 4,29 R\$ m⁻³. Para a garra-traçadora, a eficiência operacional foi de 60%, o custo operacional 193,54 R\$ h⁻¹, o custo de produção 2,31 R\$ m⁻³. Para o carregador florestal, a eficiência operacional foi de 40%, o custo operacional 405,50 R\$ h⁻¹ e custo de produção 4,28 R\$ m⁻³. As equações de produtividade e ciclo operacional em função das variáveis específicas de cada subsistema foram também definidas, para os períodos diurno e noturno. As conclusões foram que o elevado número de interrupções para manutenção e abastecimento causaram a baixa eficiência operacional do *feller-buncher* e *skidder* e que medidas de melhoria no sistema de colheita trariam ganhos significativos à empresa.

Como parte da avaliação dos fatores que influenciam na produtividade no sistema de colheita da madeira está a análise da declividade do relevo, a qual compromete a produtividade de máquinas florestais. Simões e Fenner (2010) avaliaram técnica e economicamente o *harvester* na atividade de corte e processamento de eucalipto em cinco diferentes classes de declividades, subdivididas entre 10% e 25%. A eficiência operacional média do equipamento foi de 87,25%, a disponibilidade mecânica média foi de 90,4%. Realizando a regressão da produtividade em função da declividade foi observado que as melhores produtividades ocorrem entre 10% e 15% de declividade. Pôde ser observado que o custo decresce exponencialmente com o aumento da produtividade.

Spinelli, Hartsough e Magagnotti (2010) desenvolveram um conjunto de relações matemáticas capazes de fornecer direções gerais a usuários, fornecendo predições de produtividade, o que pode contribuir para a definição de cenários de sistemas de colheita da madeira. O trabalho foi realizado a partir de 38 estudos que utilizaram o mesmo método entre os anos de 1998 e 2008. Um conjunto de variáveis independentes foi definido, como volume das árvores, espécie arbórea, tipo de tarefa, potência e tipo da máquina, de forma que o uso do modelo fosse facilitado. Os autores concluíram que o modelo desenvolvido é relativamente preciso e que os erros são decorrentes de variáveis não utilizadas e de difícil mensuração, como a proficiência dos operadores.

2.2.3. Planejamento e otimização do sistema de colheita da madeira

Os custos das operações das atividades relacionadas à colheita florestal podem ser reduzidos por meio de planejamento e, também, com a otimização dos recursos considerando as restrições existentes. Malinovski et al. (2008) aplicaram o sistema de informações geográficas (SIG) GRASS (*Geographic resources analysis support system*) integrado com o sistema de posicionamento global (*Global positioning system* – GPS) para desenvolver modelo capaz de calcular e otimizar a distância média de extração (DME) com *forwarder*. A ferramenta foi testada em talhões de eucalipto selecionados aleatoriamente com formatos retangular e irregular, sendo confirmado que o modelo foi eficiente.

Giménez et al. (2013), desenvolveram modelo para planejamento de colheita de eucalipto, baseado nos conceitos da pesquisa operacional. Inicialmente, o sistema foi alimentado com um conjunto de informações fornecidas por inventário e, na sequência, se fornece ao modelo os múltiplos objetivos da gestão florestal local e os indicadores de sustentabilidade. Desta forma o gestor tem à sua disposição, ao final do processamento do modelo, uma série de opções para condução da colheita, ordenadas com base nas premissas introduzidas. O modelo foi testado e validado em área florestal localizada no noroeste da Espanha.

Em análise de múltiplos critérios, Ghaffariyan e Brown (2013) avaliaram, por meio do método “*Prometee*” em sistema computacional *Decision Lab* 2000, quatro sistemas de colheita da madeira de eucalipto no oeste da Austrália, com relação ao custo operacional, à produtividade, ao resíduo remanescente, ao consumo de combustível e teor de casca residual. Os autores concluíram que, em que se pese que o custo é um fator muito importante, a análise em critérios múltiplos deve ser considerada para um melhor resultado, proporcionando opções robustas ao tomador de decisões. O teste realizado foi considerado consistente com base na observação dos autores.

Spinelli, Ward e Owende (2009) desenvolveram um modelo, baseado em custos, para sistemas de colheita de eucalipto. Neste modelo, os gestores podem verificar a lucratividade das operações sob diferentes alternativas de cenários, avaliando a competitividade das opções que conduzem a uma otimização de toda cadeia de suprimentos. O modelo foi baseado em relações matemáticas e dados obtidos em estudos de tempos, realizados com todos os principais tipos de equipamentos utilizados na colheita do eucalipto. Para teste do modelo foram utilizados 11 tipos diferentes de máquinas em sistemas de colheita de toras curtas (*cut to lenght*) e árvores inteiras (*full tree*). O modelo foi validado concluindo que, sob as condições do teste, o sistema de árvores inteiras (*full tree*) tem o menor custo de colheita e transporte. As limitações do modelo existem porque foi desenvolvido com base nas condições de colheita da madeira na América do Norte e Europa, apesar de que, segundo os autores, pode resultar em razoáveis aproximações se aplicado em outras regiões. A segunda limitação é devido ao encaminhamento determinístico do modelo, ocasionando interações em nível limitado.

2.3. Mentalidade enxuta

Durante os anos da revolução industrial, a figura do capataz era essencial. Nelson (1980) menciona que era através dele que todo o processo era controlado. Havia o desenvolvimento muito rápido da tecnologia, como descrito por Smiles (2005), nesse cenário, os estudos de Taylor (1970), realizados entre o final do século 19 e início do século 20, o levaram a afirmar que o pior dos desperdícios é aquele relativo ao esforço humano. Dentre os princípios da administração científica, Taylor (1970) enfatiza a necessidade da padronização dos trabalhos, instruções detalhadas e treinamento. Durante os anos da primeira guerra mundial, foi desenvolvido nos EUA por Charles

Allen, um programa de treinamento intensivo para um tipo de mão de obra desqualificada para a indústria, única disponível na época, em que se obteve muito sucesso e que foi continuado na segunda grande guerra, sendo chamado “*training within industry* (TWI)”, em português treinamento dentro da indústria, com base nos conceitos desenvolvido por Charles Allen (HUNTZINGER, 2002). Este programa se apoiava no treinamento de líderes que multiplicavam o conhecimento de forma padronizada, tinha como princípios a criação de padrões de trabalho, instruções, treinamento continuado e que o treinamento não poderia ser finalizado sem que todo o ciclo de aprendizado fosse completado (ALLEN, 1919). Este sistema de treinamento chegou ao Japão no pós-guerra para dar apoio a recuperação daquele país e alguns anos depois foi identificado como sendo referência a alguns dos princípios do Sistema Toyota de Produção (STP) (HUNTZINGER, 2002).

O responsável pela fundação de uma das maiores fábricas de automóveis do mundo, Henry Ford, um dos que utilizou dos princípios definidos pela administração científica, tinha a crença de que a redução dos custos de fabricação através da racionalização do trabalho, preocupação com os tempos desperdiçados e produção em massa seria o melhor caminho para a prosperidade das empresas (FORD; CROWTHER, 1925).

O Fundador do Grupo Toyota, Sakichi Toyoda, compartilhava com Henry Ford a predileção pela criação de invenções (LIKER, 2005) e a busca por formas de se evitar o erro operacional, seja das máquinas ou dos operadores, criou o que ficou conhecido como Automação, ferramenta do STP para garantia da qualidade dos produtos. Através de seu filho, Kiichiro Toyoda, fundou a *Toyota Motor Company* em 1935. O fordismo e a produção em massa serviriam inicialmente como modelo para Kiichiro e seu principal engenheiro, Taiichi Ohno, mas logo perceberam que, pelas características de tamanho de mercado e escassez existente no Japão da época, eles não conseguiriam utilizar este modelo de produção em massa. Esta seria a origem da mentalidade enxuta, inicialmente na fábrica de motores durante os anos 1950s (MONDEN, 1984; SHINGO, 1988; OHNO, 1997, 2009). Foram criadas ferramentas tais como o *Just-in-time*, o método *Kanban* de produção puxada, respeito aos empregados, participação de todos na solução dos problemas, sistemas automáticos à prova de erros e principalmente a busca pela redução dos desperdícios ou perdas. Ohno (1997) cita sete formas de desperdício, superprodução, esperas, transporte, processamento incorreto, excesso de estoque, movimentos desnecessários (do operador), defeitos. Nos anos 1960 o modelo se expandiu a outras fábricas da Toyota e nos anos 1970 a toda cadeia de suprimento. Desta forma houve a divulgação para fora da empresa dos “segredos” do modelo Toyota, somente traduzidos para o inglês depois de uma década (MONDEN, 1984).

O interesse no ocidente pelo sistema Toyota foi aumentado quando Womack et al. (1990) realçaram as diferenças de desempenho entre a Toyota e os fabricantes de automóveis ocidentais em seu livro “*The Machine that Changed The World*”, onde se popularizou se designar o STP por *lean production* ou *lean manufacturing*, produção enxuta ou manufatura enxuta em português. Neste ponto o modelo denominado *lean manufacturing* se restringia ao ambiente de fabricantes de carros, mas com o pressuposto de que os problemas enfrentados pela Toyota seriam problemas universais na manufatura (WOMACK et al., 1990). A aplicação deste modelo de gestão se expandiu para além da área industrial, principalmente porque muitas empresas ocidentais tiveram sucesso na utilização dos princípios *lean*, que passou a ser denominado *lean thinking*, mentalidade enxuta (WOMACK; JONES, 2004).

2.3.1. Conceitos básicos da mentalidade enxuta

O conceito de valor é o primeiro a ser destacado, o valor de um bem ou serviço em conformidade com as expectativas dos clientes, pois os responsáveis pela sobrevivência das empresas são seus consumidores. A obtenção

da definição do valor é uma etapa importante diante daquilo que se propões a mentalidade enxuta, produzir melhor pela eliminação dos desperdícios. O segundo conceito é a visualização da cadeia de valor, pois permite identificar as etapas que não criam valor e não são necessárias. Na sequência tem-se a abordagem de que os eventos devem fluir naturalmente, sem as fases improdutivas e com o aperfeiçoamento daquelas que criam valor. Esta abordagem pode causar resistência, pois departamentalização é o modelo mental mais comum nas empresas. Na revisão da cadeia de valor deve-se realizar a customização da produção na perspectiva da economia de escala. A mentalidade enxuta tem como objetivo a busca do aperfeiçoamento contínuo, embasa-se, também, pela noção de que a atividade que não é medida não pode ser melhorada, porém completa-se pela noção de que nem tudo pode ser medido ou melhorado ou que nem tudo que não agrega valor é desnecessário (WOMACK; JONES, 2004).

No desenvolvimento do que seria a mentalidade enxuta, a Toyota Motors no Japão, sob a liderança de Taiichi Ohno, identificou sete grandes tipos de perdas ou desperdícios, sem agregação de valor ao produto ou serviço (LIKER, 2005):

- superprodução: produção de itens para os quais não existe demanda; ocorrendo na perspectiva de se “aproveitar” as máquinas;
- espera (sem trabalho): operadores “vigiando” uma máquina ou em espera pelo próximo passo do processo, por peças em atraso, interrupção inesperada de equipamento e gargalos de capacidade;
- transporte ou movimentações desnecessárias: movimentações de estoque, deslocamentos desnecessários ou excessivos;
- processamento incorreto: movimentação incorreta do operador, ausência de padrão de trabalho;
- excesso de estoque: excesso de matéria prima, de estoque em processo, causando tempos de produção mais longos (*lead time*), obsolescência, custos de transporte, desbalanceamento da produção;
- movimento desnecessário: qualquer movimento inútil do operador, como procurar peça, ferramenta, documento;
- defeitos: peças, produtos defeituosos ou serviços incorretos.

Dentre os valores da mentalidade enxuta está o reconhecimento das pessoas, pois são as pessoas que dão vida ao modelo, participando ativamente na proposição e realização de melhorias. Assim, além dos conceitos técnicos neste modelo de gestão estão os princípios direcionando a ação de todos na organização enxuta, são 14 princípios mencionado por Liker (2005):

- basear as decisões administrativas em filosofia de longo prazo;
- criar fluxo de processo contínuo para que os problemas venham à tona;
- usar sistema puxado;
- nivelar a carga de trabalho;
- construir uma cultura de parar e resolver os problemas;
- tarefas padronizadas são a base para melhoria contínua;
- usar controle visual;
- usar somente tecnologia confiável;
- desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho;
- desenvolver pessoas e equipes excepcionais;
- respeitar a rede de parceiros e fornecedores;

- ver por si mesmo para compreender os problemas;
- tomar decisões lentamente por consenso e
- tornar-se uma organização de aprendizado.

Apesar do sucesso encontrado por várias organizações na utilização da mentalidade enxuta, algumas falharam, principalmente, porque se dedicam ao aprendizado das diversas ferramentas existentes para implantação do modelo e não aplicam sistematicamente seus princípios e regras, os quais são simples conceitualmente, mas dependem das mudanças comportamentais que acontecem à longo prazo (SPEAR; BOWEN, 1999).

Uma das bases da mentalidade enxuta é o trabalho padronizado, sem o qual não há possibilidade de se desenvolver a melhoria. Os desperdícios e perdas são eliminados pela ação das pessoas, mas a continuidade das melhorias é possibilitada pelo controle visual, exercido através da folha de trabalho padronizado. Pode ser feita à mão, contém os elementos essenciais à uma operação, a ação das pessoas, materiais e máquinas, mas deve ser desenvolvida pelo trabalho em equipe, considerado essencial nas atividades da mentalidade enxuta (OHNO, 1997).

Ohno (2009) apreciava apresentar a fábula da lebre e da tartaruga para exemplificar a mentalidade enxuta. Mencionava que em uma atividade na qual as quantidades necessárias ditam o ritmo de produção, a consistente tartaruga causa menos desperdícios que a rápida lebre. Alto desempenho não é necessariamente alta velocidade, mas alta qualidade, baixo consumo de energia ou mesmo máquinas livres de erros.

2.3.2. Utilização da mentalidade enxuta na agricultura

A mentalidade enxuta tem sido desdobrada em diversos segmentos de atividade, onde a redução de desperdícios tem contribuído com a melhoria de eficiência e produtividade. Na agricultura já tem havido experiências com a utilização do modelo ou suas ferramentas.

No Estado de Alberta, Canadá, o departamento responsável pela agricultura desenvolve um trabalho, direcionado a pequenas propriedades agrícolas, denominado “*Alberta Agriculture and Rural Development*” em que os conceitos da mentalidade enxuta são aplicados em fazendas daquela região, alguns estudos de caso foram relatados e se referem às fazendas de gestão familiar, relacionadas respectivamente a gado leiteiro, gado de corte e criação de frangos para abate. Uma análise inicial foi realizada para identificar as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades existentes, foram feitas sessões de consultoria para implantação de um programa 5 “S”, mapeamento do fluxo do valor, padronização das tarefas e processo de análise e solução das causas raiz dos problemas. Um ano após a implantação destas ferramentas, observou-se uma melhor administração dos empreendimentos, redução e controle de custos e um engajamento contínuo na jornada em busca da mentalidade enxuta (WARREN, 2011a, 2011b, 2011c).

Em empreendimento pecuário no Reino Unido, se desenvolveu um projeto baseado no trabalho em equipe direcionado para a melhoria contínua, um dos conceitos da mentalidade enxuta (MACKENZIE, 2011). Também no Reino Unido, em texto relacionado à preocupação de atendimento à crescente demanda de alimentos no mundo é relatada experiência em fazenda, em que se cultivam cereais para inverno e cria-se gado de alta linhagem, onde a mentalidade enxuta é aplicada colaborando com o aumento de margem de lucro na produção de carne bovina (VINTER, 2012).

Proprietário de berçário de mudas, fornecedor para toda a América do Norte, após contato com consultoria relacionada à mentalidade enxuta, aplicou os conceitos deste modelo em seu negócio, melhorando a qualidade de seus produtos e pontualidade por meio da produção puxada (LEIGH, 2012). O interesse de agricultores

canadenses tem aumentado em relação à mentalidade enxuta, pequenos proprietários têm desenvolvido e alcançado competitividade (LEIGH, 2013). Somogyi Business and Joint Ventures (2013) aconselha o uso da mentalidade enxuta na agricultura, pois afirmam que 20% dos alimentos são desperdiçados antes de chegar ao cliente final e o modelo de gestão pode reduzir 50% deste desperdício, sendo uma maneira de minimizar o impacto da carência de alimentos no mundo.

Colgan, Adam e Topolansky (2013) avaliaram a aplicação e benefícios da mentalidade enxuta em negócio agrícola no Reino Unido. Fazendo uso dos cinco princípios do modelo de gestão, mapeamento do fluxo do valor e caracterização dos sete tipos de desperdícios, cada unidade gerencial básica (UGB) do empreendimento foi mapeada com o acompanhamento de folha de dados específicos para identificar as atividades que não agregavam valor. As oportunidades de melhoria foram organizadas em um plano de ação e o novo cenário, denominado mapa do fluxo do valor no estado futuro foi desenvolvido. A margem de lucro bruta na venda de carne bovina foi aumentada em 24%, entre outros benefícios alcançados, concluíram que o modelo de gestão mentalidade enxuta oferece uma oportunidade para que os agricultores aumentem o nível de competitividade pela redução dos desperdícios em seus negócios.

2.3.3. Mapeamento de Processo e da qualidade

Um dos conceitos da mentalidade enxuta é a busca pela perfeição, porém para realizar esta busca são necessárias algumas ferramentas de apoio.

O mapa do processo, especificamente o mapa de processo multifuncional, revela a sequência dos passos que constituem o trabalho, bem como as entradas e saídas associadas a cada atividade, as funções mostradas no mapa são representadas por bandas horizontais (Figura 3). A Análise dos processos, que os mapas representam, pode ajudar a aumentar a satisfação do cliente por meio da identificação de ações para reduzir o tempo de ciclo, diminuir defeitos, reduzir custos, estabelecer indicadores de desempenho do processo orientados ao cliente, reduzir desperdícios e aumentar a produtividade. Além do uso dos mapas de processo para mostrar como o trabalho é feito ou como se quer que o trabalho seja feito, também pode-se usar os mapas de processos para: orientação de novos funcionários; avaliar ou estabelecer formas alternativas de organizar as pessoas para conseguir que o trabalho seja feito; rapidamente chegar até a velocidade de trabalho pretendida; identificar as oportunidades de melhoria; avaliar,

Figura 3. Modelo de mapa de processo multifuncional.

estabelecer ou reforçar os indicadores de desempenho (DAMELIO, 1996).

Cada uma das atividades registradas no mapa de processo pode ser mapeada para identificação dos problemas conhecidos, padrões de trabalho e métodos de medição ou controle existentes, instrumento denominado mapa da qualidade.

Esta ferramenta pode ser utilizada em segmentos diversificados, exemplificam os casos de sucesso na *McDonnell Douglas Aircraft* em que foi reduzido o retrabalho e tempo de montagem, a *IBM Credit* que reduziu o tempo de ciclo em 90%, a *Four-Hour House Buildings* de *San Diego* que reduziu o tempo de construção médio em 50% (KALMAN, 2008). O mapeamento de processo foi utilizado no desenvolvimento de compósito para indústria aeroespacial com sucesso (RYBICKA et al., 2015), e na área da medicina, o mapeamento foi utilizado para identificar o melhor encaminhamento de um tratamento clínico (BODDU et al., 2016).

2.3.4. Mapeamento do fluxo do valor (MFV)

A visualização do fluxo do valor é um dos conceitos básicos da mentalidade enxuta, e para que haja a identificação do conjunto das etapas e atividades de um processo foi desenvolvido um método que contribui com os empreendedores em busca de mudanças duradouras, possibilitando identificar o processo como um fluxo e não somente um conjunto de etapas discretas (ROTHER; SHOOK, 2007).

O mapa do fluxo do valor (MFV) é um guia para a eliminação dos desperdícios e deve ser executado em equipe, sempre através da observação direta do processo. Desenhando-se o mapa da situação encontrada obtém-se o mapa do fluxo do valor no estado presente, analisado a partir de um roteiro de oito pontos. O objetivo é tornar o processo enxuto, sem desperdícios, por meio de ações em resposta aos pontos de análise, a proposta deste novo cenário, enxuto e com menos perdas, é denominada mapa do fluxo do valor (MFV) no estado futuro.

2.3.4.1. Indicadores de desempenho básicos do MFV

Os autores Rother e Shook (2007) afirmam que no mapeamento do valor, para cada processo incluído é necessário a utilização de métricas da mentalidade enxuta. Essas métricas são também denominadas indicadores de desempenho. São informações básicas e imprescindíveis para o monitoramento do processo.

As métricas básicas sugeridas são: *takt time*, *lead time*, tempo de ciclo (TC), tempo de valor agregado (TVA) e *pitch*. Torna-se conveniente o entendimento dessas métricas para se realizar uma boa coleta de informações e um correto mapeamento do fluxo do valor, assim:

- *takt time* - Frequência com que se deve produzir um item ou produto baseado no ritmo de vendas ou na demanda do cliente. Este indicador é usado para sincronizar o ritmo da produção com a demanda do produto;
- *lead time* – O tempo que um produto consome desde o início até o fim de seu processamento. Pode ser visualizado ao se cronometrar uma peça marcada do início ao fim de seu fluxo de valor;
- tempo de ciclo (TC) – Tempo em que uma operação realiza seu ciclo de trabalho;
- tempo de valor agregado (TVA) – Tempo em que efetivamente o produto é transformado de maneira que o cliente esteja inclinado a remunerar;
- *pitch* – Tempo em que há o incremento consistente de produto. Frequentemente calculado com base em capacidade do armazenador ou caixa de produtos.

2.3.4.2. Aplicações do MFV

No setor de prestação de serviços, especificamente em processos administrativos de secretaria escolar, o MFV foi desenvolvido e ajustado às características da área, concluiu-se que os benefícios alcançados demonstram que a mentalidade enxuta pode ser utilizada eficazmente no setor de serviços (BONACCORSI; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2011).

A metodologia foi avaliada no terceiro setor, ao qual pertencem as organizações sem fins lucrativos, por Paciarotti, Ciatteo e Giacchetta (2011). Uma avaliação amostral foi realizada em 184 organizações sem fins lucrativos na Itália, no intuito de se aplicar o MFV e, com isso, encontrar estratégias de gestão que tornem o setor mais eficiente. Os passos previstos na metodologia foram executados e os resultados mostraram a importância da utilização das disciplinas de gestão para ajudar o terceiro setor a atingir as metas estabelecidas. Projetou-se a continuidade da utilização dos conceitos da mentalidade enxuta, que se mostrou aplicável ao setor.

As boas práticas da indústria farmacêutica devem ser seguidas para assegurar a manufatura consistente de produtos de qualidade e especificações requeridas. Neste contexto, um estudo foi realizado no qual a metodologia do MFV foi utilizada, sendo identificado que houve contribuições para que se alcançasse redução do *lead time*, tempos de ciclo de produção e redução de inventário em processo. O estoque foi reduzido em 38% e 58% do pessoal de apoio foi realocado (CHOWDARY; GEORGE, 2012).

2.4. Modelagem e simulação de eventos discretos para avaliação de cenários

Uma simulação de um sistema é a operação de um modelo do próprio sistema. O modelo pode ser reconfigurado e experimentado, o que é impossível, muito caro ou impraticável para se fazer no sistema que ele representa (MARIA, 1997). A simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou de um sistema através do tempo. Pode ser feito à mão ou num computador, envolve a geração de uma história artificial de um sistema e, na observação da história artificial, tirar conclusões sobre as características de funcionamento do sistema real (BANKS et al., 2004). Simulação refere-se a um amplo conjunto de métodos e aplicações para imitar o comportamento de sistemas reais, normalmente num computador com *software* adequado (KELTON; SADOWSKI, 1998). Especificamente a simulação de sistemas de eventos discretos é a modelagem de sistemas nos quais o estado das variáveis se modifica em conjuntos de pontos discretos no tempo (BANKS et al., 2004).

Como as definições apontam, a simulação é utilizada para inferir em sistema real com base em modelos. A partir do uso desta ferramenta é possível realizar avaliações de sistemas que ainda não existem e alterações em sistemas existentes (Figura 4). Desta forma, a simulação é muito utilizada na pesquisa operacional. O desenvolvimento da simulação segue os passos: identificação do problema, formulação do problema, coletar e processar dados reais do sistema, formular e desenvolver o modelo, validar o modelo, documentar modelo para uso futuro, selecionar projeto experimental apropriado, estabelecer condições experimentais para processamento, realizar o processamento da simulação, interpretar e apresentar os resultados, recomendar ações futuras (MARIA, 1997).

Figura 4. Diagrama de desenvolvimento de simulação (MARLA, 1997)

A validação do modelo é passo essencial segundo Banks et al. (2004) e deve ser realizada por método iterativo de comparação do comportamento do modelo com o sistema real. Pode ser executada subjetivamente ou estatisticamente. Subjetivamente quando não há possibilidade de realizar a análise estatística, neste caso pode ser feito, por exemplo, o teste de Turing, submetendo o conjunto de resultados da simulação e o conjunto de dados reais a especialistas, se não forem capazes de distinguir a diferença, o modelo está validado. Na verificação estatística, pode-se utilizar a estatística descritiva ou as hipóteses estatísticas como os testes “Z”, qui-quadrado, teste “F”, teste “t” ou teste de hipótese para dados emparelhados. Em avaliação de projeto de sistemas mais complexos ou uso em treinamento militar, se exige a realização de certificação do modelo (BALCI, 2001).

Para Freitas Filho (2008) os erros mais comuns na abordagem da simulação são:

- Pouco conhecimento ou pouca afinidade com a ferramenta utilizada: a utilização da ferramenta exige treinamento, correta aplicação da metodologia e correto emprego das técnicas estatísticas necessárias.
- Objetivo com pouca clareza ou definição: a ferramenta é desacreditada quando o modelo tem por objetivo comprovar soluções preconcebidas e os resultados não apresentam as respostas desejadas.
- Construção de modelos muito detalhados: levam os modelos a altos custos, com muito tempo no desenvolvimento.
- Realização de conclusões com base em uma única replicação: processamento estatístico obrigatório deve ser realizado.

Estudos relacionados à modelagem e simulação para avaliação de melhorias, para otimização e tomadas de decisão, fornecem uma visão dos propósitos que podem ser alcançados pela ferramenta.

Hansen, Barnes e Lyne (2002) desenvolveram modelo para avaliar possíveis alterações gerenciais em processo de colheita e no transporte de cana de açúcar para redução dos atrasos de entrega na usina, e, por meio do modelo, foi possível ter uma visão sistêmica do processo.

Para identificar as possibilidades relacionadas com o transporte entre a colheita da cana de açúcar e as usinas processadoras, tais como alteração na característica de capacidade dos caminhões, velocidades e número de veículos, foi avaliado sistema computacional, denominado *transwarm*, que utiliza eventos discretos para criar ambiente

dinâmico e estocástico no qual as observações são extraídas. Estudo de caso foi realizado para validar o modelo, confirmando sua eficácia (MCDONALD; DUBE; BEZUIDENHOUT, 2008).

Com o objetivo de analisar parâmetros do sistema de colheita, carregamento e transporte de cana de açúcar no Estado do Rio de Janeiro, a partir do descarregamento na usina, foi criado modelo de simulação para avaliação de opções de possíveis cenários operacionais. Foi concluído que, havendo necessidade de aumentar o fluxo de cana de açúcar para a unidade industrial é preciso melhorar o sistema de descarregamento na usina (RANGEL et al., 2009). Em situação análoga foram avaliadas quatro formas de distribuição de horário de pessoal de colheita e os impactos na produção da usina. Foi concluído que o modelo de simulação possibilitou avaliação de detalhes dos cenários. O cenário que propiciava o menor estoque médio, resultando em menores perdas de sacarose da cana, também ofereceria o maior risco de falta de cana na usina. Concluiu-se também, que embora o modelo tenha consumido um longo tempo para ser concebido, oferece agilidade para se tomar decisões a partir dos resultados gerados (SILVA; ALVES; COSTA, 2011).

Fioroni et al. (2013) desenvolveram modelo de simulação para avaliação da cadeia de suprimentos do etanol, desde a colheita da cana de açúcar, no qual envolveu uma modelagem híbrida, com eventos contínuos e discretos. O estudo de caso forneceu opções de melhoria que foram implementadas, validando a praticidade do modelo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o potencial de implantação de métodos do modelo de gestão mentalidade enxuta foram realizados três estudos de caso. Em cada estudo de caso foi feita uma verificação inicial no local onde os processos eram executados. Na sequência foram coletados os tempos operacionais e desenhados os mapas do processo e da qualidade, com os quais já se possibilitou o desenvolvimento de análises iniciais. Os processos foram modelados e simulados em sistema computacional de simulação de eventos discretos e os resultados foram utilizados para o mapeamento do fluxo do valor, em cenário inicial denominado estado presente. A análise do mapeamento do fluxo de valor possibilitou a identificação de oportunidades de redução de desperdícios nos processos, em um cenário provável, denominado de mapa do fluxo do valor no estado futuro, possibilitando analisar quantitativamente os resultados das melhorias.

Os estudos foram realizados em duas frentes de colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC) e no processo de colheita da madeira (CMM). A sequência do estudo com base nas fases em que foram executadas é apresentada na figura 5.

Figura 5. Fluxo da avaliação do potencial da implantação de mentalidade enxuta.

3.1. Local e equipamentos

Para o estudo de caso 1, a coleta de dados foi realizada entre os dias 17/08/2015 e 22/08/2015, em uma frente de colheita mecanizada de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) (CMC) de uma Usina produtora de açúcar e álcool, localizada na região noroeste do Estado do Paraná, latitude 22° 52' sul e longitude 52° 10' oeste, 362 m de altitude média. A região tem a predominância de solo tipo Latossolo Vermelho-escuro Distrófico (EMBRAPA, 1984). O tipo climático predominante é o Cfa-subtropical úmido mesotérmico segundo classificação de Köppen, com relevo plano a suave ondulado. A frente de colheita estudada possuía cinco colhedoras modelo *John Deere 3522*,

10 caminhões¹ transbordos modelo *Volvo* VM260 6X4 com capacidade de 16 toneladas cada um e um número variável de caminhões canavieiros, diversos modelos, para transporte, com a capacidade média de 64 toneladas. A quantidade de caminhões que atendem a frente de colheita depende do número de colhedoras ativas no momento, da distância entre a localização da fazenda onde se realiza a colheita, da área industrial da usina e da demanda momentânea de cana de açúcar. Para o estudo adotou-se o número de 4 caminhões, por se tratar de um número médio de veículos que fazem o transporte nesta frente de colheita.

O estudo de caso 2, com coleta de dados iniciada em 31/08/2015 e finalizada em 25/09/2015, desenvolveu-se em uma frente de colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC) em Usina de empresa do segmento de energia localizada na região da cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, latitude sul 22° 35' e longitude oeste 47° 37'. Os solos são predominantes Latossolo Vermelho Escuro, Podzólico Vermelho-escuro e Vermelho-amarelo. A região tem clima classificado como Cwa, pelo sistema de Köppen, o que significa mesotérmico úmido subtropical com inverno seco. O relevo é suave ondulado e se torna ondulado a medida que se aproxima da várzea (BARRETO; SPAROVEK; GIANNTTI, 2006). A frente de colheita era constituída por 3 colhedoras de cana de açúcar auto propelidas modelo *John Deere* 3522, 6 tratores transbordos, modelo Valtra BH180, sendo quatro equipamentos em configuração simples com oito toneladas de capacidade e dois em configuração dupla com 16 toneladas de capacidade. Para fins de modelagem foi considerada a existência de 3 caminhões canavieiros com capacidade média de 64 toneladas, fazendo o transporte de cana da colheita mecanizada para a indústria. A quantidade de caminhões era variável em função de parâmetros de demanda da indústria e das distâncias das áreas de colheita. Outro fator que interferiu na quantidade de caminhões foi a disponibilidade do prestador de serviço, pois se tratava de frota terceirizada.

O estudo de caso 3, com coleta de dados iniciada em 05/10/2015 e finalizada em 18/11/15, desenvolvido com a colheita mecanizada de madeira (CMM), representada basicamente pelas espécies híbridas *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, para produção de painéis de madeira. O estudo foi delimitado pela etapa de colheita até a entrega da madeira no pátio ou esteiras de alimentação da área industrial da empresa, também denominada indústria, incluindo todas as etapas intermediárias necessárias a esse processo. Como as atividades do processo se desenvolvem simultaneamente em diversas quadras e fazendas, não há uma única localização dos levantamentos de dados, mas ocorreram principalmente no município de Agudos no Estado de São Paulo. Considerou-se a localização no entorno da latitude sul 22° 28' e longitude oeste 48° 55', com o clima caracterizado como Cfa, conforme a classificação Köppen, úmido e quente com verões chuvosos e invernos secos, índices pluviométricos médios mensais, nos meses de dezembro a fevereiro, superiores a 200 mm e durante os meses de maio a setembro com médias mensais que poucas vezes ultrapassam os 80 mm (BATTISTELLE et al., 2000). O solo é predominante Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico A moderado, textura média. O relevo predominantemente é o suave ondulado (declividade média entre 2 e 10%), com 65% da área e em 21% da área é ondulado (GONÇALVES et al., 2012). No processo se utiliza o sistema de toras curtas (*cut to length*) com toras de 6 metros de comprimento.

1 As máquinas responsáveis pela colheita e etapas intermediárias nos processos, em partes do texto em que não foi imposta uma denominação específica, foram denominadas, também, como equipamentos. O conjunto semirreboque e trator ou cavalo mecânico foi denominado como transbordo, também denominados veículos quando a nomenclatura específica foi dispensável. Os caminhões canavieiros foram denominados simplesmente de caminhões e, quando prescindível maior especificação, também denominados de veículos. Os caminhões responsáveis pelo transporte da madeira para a indústria, quando não houve necessidade da denominação detalhada, foram designados meramente de caminhões ou veículos.

No processo de CMM estudado foram utilizados três equipamentos *feller-buncher* modelo John Deere 903J para o processo de corte e derrubada, três garras traçadoras Roder-WM GT 600-S montadas em escavadora John Deere 200DLC, dois equipamentos *forwarder* modelo John Deere 1710D para baldeio, quatro caminhões “fora de estrada” modelo Volvo A30 com capacidade média de 65 m³ para transporte, um número variável de caminhões tri-articulados terceirizados com capacidade média de 60 m³ para transporte, um número variável de carregadoras florestais terceirizadas e duas carregadoras modelo Liebherr A944C para descarregamento na indústria. A utilização de 12 caminhões terceirizados e três carregadoras florestais terceirizadas foram consideradas, por se tratar da quantidade média em serviço no caso estudado. As carregadoras florestais possuíam garras da marca J.Souza com capacidade de 0,8 m² montadas em escavadora Komatsu Bauko PC200.

3.2. Fase 1 – Mapeamentos do processo, mapeamento da qualidade e coleta de tempos operacionais

As fases, já apresentadas na figura 5, página 35, correspondentes aos mapeamentos do processo e da qualidade, os quais foram delineados para a realização de análise qualitativa que também contribuíram para as proposições de melhorias do processo. Para execução do mapa do processo, visualizou-se o funcionamento do processo, no sentido inverso ao fluxo dos materiais. O mapa do processo e mapas da qualidade de cada uma de suas respectivas etapas foram desenhados por meio das observações e de entrevistas feitas junto aos gestores.

3.2.1. Mapeamento do processo

Para construção do mapa do processo, figura 6, a divisão funcional ou das etapas do processo foi definida. Cada etapa foi caracterizada, individualmente e representadas no diagrama em linhas horizontais, com cada atividade relacionada descrita dentro de retângulos, de forma a serem inter-relacionadas. Os pontos de decisão foram descritos inseridos em losangos. No mapa, os pontos de armazenagem e paradas em expectativa de liberação para prosseguimento do processo foram identificados e representados por meio de retângulos em linhas tracejadas.

Figura 6. Definições no mapeamento do processo.

3.2.2. Mapeamento da qualidade

Os mapas da qualidade foram desenvolvidos a partir do mapa do processo, figura 7. Um mapa para cada etapa foi desenhado e as atividades foram organizadas em colunas e analisadas para que fossem identificados os padrões ou procedimentos de trabalho existentes, ou a inexistência destes padrões. Somente as instruções escritas ou apresentas em forma gráfica foram consideradas como padrões de trabalho, pois as instruções passadas somente de forma verbal podem ser mal interpretadas ou negligenciadas mais facilmente.

	Padrões	Métodos / Controle de Medição	Problemas Conhecidos	Testes e Resultados
Corte de Eucalipto e derrubada no solo	<ul style="list-style-type: none"> • Corte de 3 ou 4 linhas. • "Tir" no solo em ângulo de 90° com alinhamento das árvores. • 2º feixe colocado por cima. • Área de refúgio: corte rente ao solo e aplicação de herbicida. • Outras Áreas: corte a 10 cm do solo em média. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contador manual de árvores derrubadas. • Avaliação do processo feita pelo Supervisor de Colheita. • Contabilização de produção em função do número de árvores derrubadas, volume médio por árvores inventariadas anteriormente. 	<ul style="list-style-type: none"> • "Quebra" de máquina. • Principais problemas de máquina: hidráulica, articulações e desgaste mecânico. • Pontos a serem observados como rede elétrica, estradas e cercas. 	

Figura 7. Definições do mapa da qualidade.

As colunas relativas às atividades foram completadas com as informações relacionadas aos métodos de controle, métricas ou indicadores de desempenho de cada atividade. Da mesma forma, a lista de problemas de maior ocorrência foi desenvolvida a partir de informações fornecidas pelos gestores do processo.

3.2.3. Indicadores do processo

Os casos abordados nos estudos têm seus próprios indicadores de desempenho, em que se pese que não existiam para todas as atividades. Todavia, para a elaboração do estudo, a utilização de indicadores de desempenho é essencial. Dessa forma, optou-se pela utilização dos indicadores propostos por Rother e Shook (2007), pois foram adotados como uma referência para a implantação da mentalidade enxuta.

Assim, como indicadores de desempenho do processo foram adotados o tempo TTK, *pitch*, o tempo que o produto consome desde o início até o fim de seu processamento, *lead time*, o tempo de valor agregado (IVA), os tempos de espera (Tesp), os tempos de processamento incorreto (Tpi) e o tempo de ciclo (TC).

O intervalo de tempo para atendimento à demanda, tempo *takt*, calculado de acordo com a equação 1.

$$TTK = \frac{TDD}{DD} \quad (1)$$

Em que:

TTK = Tempo takt (min t^{-1});

TDD = Tempo disponível diário em minutos (min);

DD = Demanda diária do cliente em toneladas (t).

O intervalo de tempo em que uma quantidade consistente de produto é entregue para atendimento da demanda, *pitch*, calculado pela equação 2.

$$PT = TTK \times Q \quad (2)$$

Em que:

PT = *Pitch* (min);

Q = Quantidade de produtos ou serviços entregues por vez ao cliente (t).

Os tempos em que se adicionam valor ao processo, tempo de valor agregado (TVA), são calculados pela equação 3.

$$TVA = \frac{\sum_{i=1}^n TVA_i}{NCA} \quad (3)$$

Em que:

TVA_i = Tempos das “n” atividades que agregam valor à etapa (min);

NCA = Número de caminhões que descarregaram na indústria no período avaliado.

Os tempos em que ocorrem esperas no processo, tempos de espera (Tesp), calculados pela equação 4.

$$T_{esp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{esp_i}}{NCA} \quad (4)$$

Em que:

T_{esp_i} = Tempos das “n” atividades classificadas como “esperas” (min);

NCA = Número de caminhões que descarregaram na indústria no período avaliado.

Os tempos de atividades ou ocorrência classificados como processamento incorreto, tempos de processamento incorreto (T_{pi}) calculados pela equação 5.

$$T_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{pi_i}}{NCA} \quad (5)$$

Em que:

T_{pi_i} = Tempos das “n” atividades classificadas como “processamento incorreto” (min);

NCA = Número de caminhões que descarregaram na indústria no período avaliado.

O tempo de ciclo de cada etapa do processo (TC) calculado pela equação 6.

$$TC = \frac{\sum_{i=1}^n TC_i}{NCA} \quad (6)$$

Em que:

TC_i = Tempos das “n” atividades incluídas no tempo de ciclo da etapa (min);

N_{Ca} = Número de caminhões que descarregaram na indústria no período avaliado.

Os tempos de espera (T_{esp}) e de processamento incorreto (T_{pi}) foram contabilizados à cada atividade ou interrupção do processo de acordo com classificação dos sete tipos de perdas ou desperdícios de Ohno (1997): superprodução, esperas, transporte, processamento incorreto, excesso de estoque, movimento desnecessário e defeitos.

O cálculo do número teórico necessário de equipamentos e veículos foi feito com base no *pitch*, (Equação 7). Assim, o resultado se interpreta como o número teórico de recursos, equipamentos ou veículos, para atendimento à demanda em entregas com intervalos do tempo *pitch*.

$$NR = \frac{TC}{PT} \quad (7)$$

Em que:

NR = Número de recursos necessário para atender o *pitch*;

TC = Tempo de ciclo (min).

Como os estudos se referem à processos que envolvem máquinas em atividades agrícolas, para a avaliação do processo foi utilizada a classificação dos tempos operacionais e não operacionais adaptada da proposição de Gonçalves et al. (1993), assim como as eficiências relacionadas a esses tempos:

A eficiência operacional líquida (EFOPL) avalia a influência dos tempos acessórios (TAC) no tempo produtivo (TPR), sendo calculada pela equação 8.

$$EFOPL = \frac{TPRL}{TPR} \times 100\% = \frac{TPRL}{TPRL + TAC} \times 100 \quad (8)$$

Em que :

TPRL = Tempo produtivo líquido (min);

TPR = Tempo produtivo (min);

TAC = Tempos acessórios (min).

A eficiência operacional (EFOP) que avalia a influência dos tempos auxiliares no processo nos tempos de utilização (TUT), calculada pela equação 9.

$$EFOP = \frac{TPR}{TUT} \times 100\% = \frac{TPR}{TPR + TAX} \times 100 \quad (9)$$

Em que:

EFOP = Eficiência Operacional (%);

TUT = Tempo de utilização (min);

TAX = Tempos auxiliares (min).

A eficiência de aptidão (EFAT) que avalia a influência dos tempos de inaptidão (TIN) no tempo de aptidão (TAP), calculada pela equação 10.

$$EFAT = \frac{TUT}{TAP} \times 100\% = \frac{TPR + TAX}{TPR + TAX + TIN} \times 100 \quad (10)$$

Em que:

EFAT = Eficiência de aptidão (%);

TAP = Tempo de aptidão (min);

TIN = Tempos de Inaptidão (min).

A eficiência de utilização (EFUT) que avalia a influência dos tempos perdidos (TPE) no tempo disponível (TDP), calculada pela equação 11.

$$EFUT = \frac{TAP}{TDP} \times 100\% = \frac{TPR + TAX + TIN}{TPR + TAX + TIN + TPE} \times 100 \quad (11)$$

Em que:

EFUT = Eficiência de utilização (%);

TDP = Tempo disponível (min);

TPE = Tempos perdidos (min).

A eficiência de disponibilidade (EFDP) que avalia a influência dos tempos de manutenção (TMN) na jornada de trabalho (JT), calculada pela equação 12.

$$EFDP = \frac{TDP}{JT} \times 100\% = \frac{TPR + TAX + TIN + TPE}{TPR + TAX + TIN + TPE + TMN} \times 100 \quad (12)$$

Em que:

EFDP = Eficiência de disponibilidade (%);

JT = Jornada de trabalho (min);

TMN = Tempos de Manutenção (min).

A eficiência de aproveitamento (EFAP) que avalia a influência dos tempos não programados (TNP) no tempo total (TT), calculada pela equação 13.

$$EFAP = \frac{JT}{TT} \times 100\% = \frac{TPR + TAX + TIN + TPE + TMN}{TPR + TAX + TIN + TPE + TMN + TNP} \times 100 \quad (13)$$

Em que:

EFAP = Eficiência de aproveitamento (%);

TT = Tempo total (min);

TNP = Tempo não programado (min).

A eficiência global (EFGl), representando a eficiência global do processo sem considerar os tempos acessórios (TAC), calculada pela equação 14.

$$EFGl = EFOP \times EFAT \times EFUT \times EFDP \times EFAP \quad (14)$$

Em que:

EFGl = Eficiência global (%).

A eficiência global líquida (EFGLL), representando a eficiência global do processo considerando-se os tempos acessórios (TAC), calculada pela equação 15.

$$EFGLL = EFGl \times EFOPL \quad (15)$$

Em que:

EFGLL = Eficiência global líquida (%).

3.2.4. Coleta de tempos operacionais

A coleta dos tempos operacionais de cada etapa do processo foi realizada com a utilização de 3 cronômetros digitais com resolução de 0,01 s, planilha impressa para os devidos registros, um receptor de sinais GPS (*Global Positioning System*), modelo Garmin GPS62S, colocado nas máquinas e veículos para registro dos movimentos. Todas as tomadas de tempo tiveram o número mínimo de 25 amostras realizadas em segundos decimais, pois de acordo com Freitas Filho (2008), com um número de amostras entre 25 a 30 amostras a probabilidade é pequena de que a amostra não seja uma boa representação do parâmetro de observação.

3.2.4.1. Coleta de tempos na colheita mecanizada da cana de açúcar

A coleta de tempos operacionais da CMC foi realizada de acordo com as metodologias apresentadas, descritas resumidamente na figura 8. Exceto pelas manobras de cabeceira, os intervalos entre interrupções no processo e respectivas durações foram extraídos do banco de dados do sistema computacional de gestão de equipamentos e veículos da Usina, com os dados gerados a partir de computadores de bordo, instalados nos respectivos equipamentos.

Para a cronometragem do tempo em que a colhedora efetivamente opera o corte, adotou-se como referência de início o momento em que a cana picada inicia a saída da colhedora para carregamento do transbordo e, da mesma forma, a interrupção do corte foi considerado o momento em que se interrompe o fluxo de cana para o transbordo. A cronometragem da manobra de cabeceira da colhedora se iniciou com a interrupção do corte até o reinício da operação após a manobra. O comprimento de cada linha de cana colhida cronometrada ou tiro, foi obtido pelo registro do trajeto realizado pelo receptor de GPS colocado na máquina sob observação.

A cronometragem da manobra do transbordo em acompanhamento à colhedora se iniciava no mesmo momento em que a colhedora interrompia o corte para manobra e finalizava com o posicionamento do transbordo ao lado da colhedora e esta reiniciava o corte. A transferência da carga do transbordo para o caminhão foi cronometrada considerando-se o início do ciclo quando o transbordo se posicionava ao lado do caminhão, para início da elevação da carga, e finalizava quando o transbordo abaixava totalmente a caçamba e iniciava deslocamento para retomar ao posto de espera.

Os tempos de pesagem dos caminhões, operação realizada na entrada e saída da indústria, foram medidos tomando como ciclo de pesagem o intervalo em que o caminhão permanecia imóvel sobre a balança. Para a cronometragem, os tempos de descarregamento dos caminhões foram obtidos de forma similar aos tempos de pesagem. Os ciclos de deslocamentos dos caminhões no pátio da indústria foram cronometrados nos intervalos entre os pontos de parada obrigatórios: pesagem cheio, sondagem (inspeção), descarregamento e retorno para pesagem vazio. O tempo de sondagem foi obtido por cronometragem do tempo compreendido pela imobilização e liberação do caminhão após a retirada das amostras pela sonda.

Sequência do processo		Coleta de dados
1	<p>Colhedora corta a cana e transfere para transbordo</p>	<p>Cronometragem da linha de corte completa. Distância percorrida determinada por receptor de sinais de GPS. Manobras cronometradas entre interrupção e retorno da transferência de cana colhida para transbordo no final da linha de corte.</p>
2	<p>Quando o transbordo atinge a carga máxima se encaminha para a área de transferência e é substituído por outro vazio</p>	<p>Deslocamento do transbordo vazio e carregado determinado pela colocação de aparelho receptor de GPS colocado no veículo.</p>
3	<p>A carga de cana colhida é transferida para o caminhão.</p>	<p>Cronometragem da transferência a partir da imobilização do transbordo ao lado do caminhão e finalização com a movimentação do transbordo após transferência completa.</p>
Sequência do processo		Coleta de dados
4	<p>A carga é transportada para a Usina após a capacidade do caminhão ser completada.</p>	<p>Tempo e distância do deslocamento entre frente de colheita e usina determinados por receptor de sinais de GPS colocado no veículo.</p>
5	<p>A carga transportada é pesada na entrada da Usina</p>	<p>Cronometragem da pesagem realizada entre a imobilização completa e o reinício do movimento do caminhão na balança.</p>
6	<p>Parte dos carregamentos passa pela sonda para verificação de características da cana</p>	<p>Cronometragem da sondagem realizada entre a imobilização completa e o reinício do movimento do caminhão na área da sonda.</p>
7	<p>Descarregamento dos caminhões na Usina</p>	<p>Cronometragem do descarregamento realizado entre a imobilização completa e o reinício do movimento do caminhão no local de transferência.</p>

Figura 8. Operações na colheita mecanizada da cana de açúcar (CMC) e as respectivas coletas de dados.

As velocidades e tempos de deslocamento de campo dos transbordos e caminhões foram obtidos por meio do registro em receptor de sinais GPS colocado nos veículos. Os dados foram posteriormente descarregados e tabulados por meio de aplicativo computacional fornecido pelo fabricante do receptor. Os métodos de coleta dos dados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2. Métodos de coleta de dados do processo de colheita mecanizada da cana de açúcar (CMC).

Etapa do Processo	Coleta de Tempos	
	Elemento	Método
Colheita	Corte	Cronometragem
	Manobra	Cronometragem
Transbordo	Interrupções	Banco de dados
	Deslocamentos	Receptor GPS
	Manobra	Cronometragem
	Descarregamento	Cronometragem
Transporte	Interrupções	Banco de dados
	Deslocamento no campo	Receptor GPS
	Deslocamentos no pátio	Cronometragem
	Pesagens	Cronometragem
	Sondagem	Cronometragem
	Interrupções	Banco de dados
	Descarregamento	Cronometragem

3.2.4.2. Coleta de tempos na colheita mecanizada da madeira

A coleta de tempos na CMM foi feita por métodos sumarizados na figura 9. O ciclo de tomada de tempo da atividade de corte e derrubada se iniciava com o corte da primeira árvore e se encerrava após o *feller-buncher* depositar o feixe de árvores no solo, antes do início do corte da primeira árvore do próximo feixe. A contagem do número de árvores foi feita em cada feixe depositado no solo, considerando o valor de 0,22 m³ para o volume médio unitário das árvores, o volume foi informado pela gestão do processo e, adotado para o cálculo dos tempos.

Para a amostragem dos tempos da operação de traçamento o ciclo se iniciou a partir do momento em que a garra se posiciona para prender o feixe de árvores e finaliza com a colocação do feixe cortado no solo, incluindo o elemento da operação em que a garra organiza o feixe. A contagem do número de toras de cada feixe foi realizada juntamente com a amostragem dos diâmetros das toras para se obter a função densidade de probabilidade do diâmetro das toras.

Sequência do processo		Coleta de dados
1	<p>O equipamento <i>feller-buncher</i> executa o corte e derrubada das árvores.</p>	Cronometragem do ciclo compreendido pelo início do corte, depósito de feixe no solo e retorno ao início do corte. Contagem do número de árvore por feixe.
2	<p>As garras traçadoras cortam as árvores em toras de seis metros de comprimento</p>	Cronometragem do ciclo compreendido pelo início do recolhimento da primeira tora para traçagem, depósito do feixe de toras no solo e reinício do recolhimento das toras. Contagem do número de toras e amostragem do diâmetro das toras.
3	<p>Os veículos <i>forwarders</i> executam o baldeio das toras em quadras somente atingidas por rodovias oficiais.</p>	Coleta de tempos de deslocamento, distâncias percorridas realizada por meio de receptor de sinais de GPS colocado no interior do veículo. Cronometragem dos tempos de carregamento e descarregamento.
4	<p>As carregadoras florestais executam o carregamento diretamente do local de depósito das toras traçadas em caminhões A30.</p>	Cronometragem de ciclo compreendido pelo início do recolhimento das toras, colocação do feixe no caminhão e retorno a início do recolhimento. Contagem do número de toras e amostragem do diâmetro das toras.
5	<p>As carregadoras florestais trazem as toras, colocadas nos carregadores pelos <i>forwarders</i>, para os caminhões de terceiros.</p>	Cronometragem de ciclo compreendido pelo início do recolhimento das toras, colocação do feixe no caminhão e retorno a início do recolhimento. Contagem do número de toras e amostragem do diâmetro das toras.
5	<p>Os caminhões A30 e caminhões terceirizados, quando têm as cargas completadas, realizam o transporte da madeira para a indústria.</p>	Coleta de tempos de deslocamento, distâncias percorridas realizada por meio de receptor de sinais de GPS colocado no interior do veículo.
6	<p>Os veículos são pesados na entrada da indústria e na saída para o campo.</p>	Cronometragem da pesagem realizada entre a imobilização completa e o reinício do movimento do caminhão na balança.
7	<p>Verificação de densidade em 10% dos caminhões de cada quadra colhida.</p>	Cronometragem de ciclo compreendido pelo início do recolhimento das toras, colocação no tanque de imersão e colocação do feixe no pátio.
8	<p>Garras carregadoras executam o descarregamento dos caminhões na indústria.</p>	Cronometragem de ciclo compreendido pelo início do recolhimento das toras e liberação do caminhão para deslocamento.

Figura 9. Operações na colheita mecanizada da madeira (CMM) e as respectivas coletas de dados.

A etapa de baldeio foi subdividida pelos elementos: deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento do *forwarder*. Os tempos relacionados aos deslocamentos do equipamento foram registrados pelo receptor de sinais de GPS colocado no equipamento, com os registros sendo tabulados posteriormente. Na cronometragem do carregamento, o ciclo de cada amostra de tempo se iniciava no momento da parada do *forwarder* para carregamento e terminava quando a capacidade do equipamento se completava e este iniciava o deslocamento para o descarregamento no carreador. Da maneira inversa foi o procedimento quanto à cronometragem do descarregamento.

O carregamento dos caminhões, executado pela carregadora florestal, foi cronometrado tomando-se como base os intervalos de cada operação da garra. A garra recolhia as toras até atingir sua capacidade, se movimentava e depositava a carga no caminhão. A amostragem de tempo, portanto, se iniciou com o posicionamento do equipamento para iniciar a retirada e finalizou com o depósito das toras no caminhão, incluindo o tempo de organização das toras, quando necessário, sobre o caminhão. A quantidade de toras de cada operação de carregamento foi registrada.

O levantamento dos tempos relacionados com o transporte da madeira do campo para a indústria foi realizado pelo registro dos deslocamentos por meio de receptor de sinais de GPS colocado nos veículos, com os dados registrados sendo extraídos e tabulados posteriormente.

A operação de pesagem foi cronometrada considerando-se o intervalo em que o caminhão permanecia imobilizado sobre a balança. Os tempos de deslocamentos dos caminhões, internamente na indústria, foram medidos através dos registros do receptor de sinais de GPS. A amostragem dos tempos de descarregamento considerou os ciclos individuais da garra descarregadora, com cada ciclo iniciando-se em instantes antes do recolhimento das toras no caminhão e finalizando com a deposição das toras no pátio da indústria ou na esteira que leva as toras para o processo industrial. As operações de arrumação, amarração e desamarração das cargas nos caminhões foram cronometradas considerando-se os intervalos entre o momento em que o operador ou motorista para o veículo para a tarefa e o momento em que retorna o deslocamento.

Os dados de tempos referentes às interrupções do processo foram obtidos no sistema computacional de gestão de equipamentos da empresa. O banco de dados do sistema tem origem em relatórios diários preenchidos manualmente pelos operadores dos equipamentos. Na tabela 3 observa-se os métodos utilizados para coleta dos dados.

Tabela 3. Métodos de coleta dos dados do processo de colheita mecanizada de madeira (CMM).

Etapa do Processo	Equipamento	Coleta de Tempos	
		Elemento	Método
Colheita	<i>Feller-buncher</i>	Corte e derrubada	Cronometragem
Traçamento	Garra traçadora	Traçamento	Cronometragem
Baldeio	<i>Forwarder</i>	Deslocamento vazio	Receptor de GPS
		Carregamento	Cronometragem
		Deslocamento cheio	Receptor de GPS
Carregamento Transporte	Garra carregadora	Descarregamento	Cronometragem
		Carregamento	Cronometragem
		Arrumação de carga	Cronometragem
		Amarração de carga	Cronometragem
		Deslocamento cheio	Receptor de GPS
	A30/Caminhão	Deslocamento vazio	Receptor de GPS
		Pesagem	Cronometragem
		Deslocamento pátio	Receptor de GPS
		Desamarração	Cronometragem
		Limpeza	Cronometragem
Interrupções	Todos	Interrupções	Banco de dados
Descarregamento	Garra descarregadora	Descarregamento	Cronometragem

3.3. Fase 2 - Desenvolvimento do Modelo computacional para simulação. Mapeamento do fluxo do valor - MFV no estado presente

Nesta fase do trabalho foi desenvolvido um modelo computacional representativo de cada um dos processos sob análise, sendo as entidades do sistema caracterizadas como o item que se move pelo processo e é objeto principal da análise. O sistema computacional para simulação de eventos, ARENA^{®2}, foi utilizado como ambiente para a modelagem e simulação. Os resultados da simulação do modelo foram utilizados como parâmetros para o mapeamento do fluxo do valor do processo, caracterizando um cenário inicial representativo da situação operacional do processo no momento avaliado, denominado de cenário do estado presente.

3.3.1. Definição das funções densidade de probabilidade

² ARENA[®] é um sistema computacional para simulação de eventos discretos cujos conceitos de modelagem são abordados em forma de fluxogramas. O sistema possui um módulo de análise de dados de entrada, denominado *input analyser*, que possibilita a definição de funções densidade de probabilidade a partir de dados coletados. Os resultados podem ser analisados estatisticamente pelo módulo denominado *process analyser*. Possui, também, o recurso de criação de animações representativas do modelo simulado e, por meio do módulo denominado *optquest*, realizar avaliações de otimização, dentre outros recursos.

A criação do modelo envolveu a utilização de módulo disponível no sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos, buscando a representação do processo real. Um dos recursos do sistema é a utilização de números estocásticos e, por essa razão, transformou-se as amostras de tempos e outros parâmetros em funções densidade de probabilidade. Isso torna a simulação capaz de gerar resultados mais próximos daquilo que ocorre na realidade do processo.

A partir dos dados coletados, as funções densidade de probabilidade, que melhor se ajustaram à distribuição de frequência dos tempos das operações e outros parâmetros necessários à modelagem que possuem variabilidade no processo foram atribuídas. Empregou-se, nessa tarefa, o módulo específico do sistema computacional de simulação, que operacionalizou os testes de aderência qui-quadrado e *Kolmogorov-Smirnov*, considerando a condição de aceitação, em ambos os casos, o parâmetro $p\text{-value} > 0,10$, menor valor do nível de significância para o qual não é rejeitada a distribuição definida como representativa dos dados. Caso não houvesse nenhuma função que atendesse o critério, adotava-se a distribuição empírica como a melhor representação.

Para o processo de colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC), como entidade primária, no sistema para modelagem e simulação, foi definido o equivalente a uma tonelada de cana colhida. O tempo em que se colhe uma tonelada de cana é função do tempo cronometrado, distância percorrida em cada trajeto de corte (tiro), produtividade do talhão colhido, número de fileiras e espaçamento das linhas de cana de açúcar do local (Equação 16). As informações de produtividade prevista do talhão, espaçamento e número de fileiras de cana do talhão foram fornecidas pela liderança da frente de colheita.

$$P_{TC} = \frac{t_t \cdot 10.000}{d_p \cdot N_f \cdot Pr_t \cdot Esp} \quad (16)$$

Em que:

P_{TC} = Tempo de colheita de cana de açúcar (min t^{-1});

t_t = tempo do tiro (min);

d_p = distância percorrida em cada tiro (m);

N_f = Número de fileiras cortadas por vez pela colhedora;

Pr_t = Produtividade teórica do talhão (t ha^{-1});

Esp = Espaçamento das linhas de cana de açúcar (m).

No processo de colheita mecanizada de madeira (CMM), foi definido um metro cúbico de madeira como entidade primária. O tempo para se colher um metro cúbico, na etapa de corte e derrubada no modelo de simulação, foi definido como função do tempo de cada ciclo cronometrado, do volume médio unitário das árvores, conforme informação gerencial fixado em $0,22 \text{ m}^3$, e do número de árvores cortadas por ciclo (Equação 17).

$$P_{TM} = \frac{t_c}{N_A \cdot V} \quad (17)$$

Em que:

P_{TM} = Tempo de colheita da madeira (min m^{-3});

t_c = Tempo de corte (min);

V = Volume médio unitário das árvores (m^3);

N_A = Número de árvores derrubadas no ciclo.

A relação dos tempos coletados e o volume de madeira processado e movimentado pelas garras traçadoras foi determinado como função do tempo de traçamento por ciclo, número de toras traçadas por ciclo, do diâmetro médio aparente das toras e do comprimento das toras, fixado em seis metros (Equação 18).

$$P_{TT} = \frac{t_{TR}}{N_T (\pi d^2/4) CT} \quad (18)$$

Em que:

P_{TT} = Tempo de produção no traçamento (min m^{-3});

t_{TR} = Tempo de traçamento do feixe de toras (min);

N_T = Número de toras por feixe;

d = Diâmetro aparente das toras (m);

CT = Comprimento das toras (6 m).

A operação de carregamento e descarregamento são similares, assim, a relação dos tempos coletados e o volume de madeira carregada ou descarregada pelas garras carregadoras, foi determinado como função do tempo de carregamento ou descarregamento por ciclo, número de toras carregadas ou descarregadas por ciclo, do diâmetro médio aparente das toras e do comprimento das toras, seis metros no caso (Equação 19). Neste caso, também, se tem a informação de volume médio por tora.

$$P_{Tca} = \frac{t_{ca}}{N_T (\pi d^2/4) CT} \quad (19)$$

Em que:

P_{Tca} = Tempo de produção no carregamento ou descarregamento (min m^{-3});

t_{ca} = Tempo de carregamento ou descarregamento do feixe de toras (min);

N_T = Número de toras por feixe;

d = Diâmetro aparente das toras (m);

CT = Comprimento das toras (m). Valor fixo em seis metros.

A definição das funções densidade de probabilidade referente às interrupções ao processo de colheita mecanizada da cana de açúcar foram obtidas por meio do banco de dados no sistema computacional de gestão de equipamentos das Usinas. Para cada tipo de interrupção foram tabulados os intervalos entre ocorrências e a extensão de cada ocorrência. Os valores tabulados alimentaram o módulo específico do sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos para definição de funções densidade de probabilidade.

As interrupções do processo de colheita da madeira estavam disponíveis no sistema computacional de gestão dos equipamentos, porém sem os registros detalhados. Os equipamentos no processo de colheita da madeira não possuíam computadores de bordo para a o registro do momento exato da ocorrência das interrupções. Assim, o banco de dados foi alimentado a partir de registros diários redigidos manualmente pelos operadores das máquinas. Por essa razão, os relatórios do sistema de gestão fornecem somente a totalização por período para cada tipo de interrupção. Para utilização desta fonte de dados em modelo para simulação foi necessário determinar a frequência e extensão das interrupções. Em conjunto com os gestores do processo, a quantidade de ocorrências das interrupções em um período de 30 dias foi definida, então, por uma função densidade de probabilidade triangular, com moda de 10 ocorrências mensais, valor mínimo de quatro ocorrências mensais e um valor máximo de 20 ocorrências mensais.

Desta maneira, ao se dividir o tempo total de uma interrupção no período de um mês, pelo número de ocorrências deste mês, obtém-se o tempo médio de duração de cada tipo de ocorrência (Equação 20).

$$TMO = \frac{TTO}{NO} \quad (20)$$

Em que:

TMO = Tempo médio da ocorrência (min);

TTO = Tempo total mensal do tipo de ocorrência para o equipamento (min);

NO = Número de ocorrências.

O intervalo médio entre ocorrências foi definido de acordo com a equação 21.

$$IMEO = \frac{TTD - \left(\frac{TTO}{60}\right)}{NO} \quad (21)$$

Em que:

IMEO = Intervalo médio entre ocorrências (h);

TTD = Tempo total mensal disponível para a operação (h);

TTO = Tempo total mensal do tipo de ocorrência para o equipamento (min).

3.3.2. Determinação dos parâmetros de simulação e validação do modelo.

A simulação inicial foi realizada em tempo correspondente a quarenta dias, no caso da colheita mecanizada da cana de açúcar, e 150 dias para a colheita mecanizada da madeira, tempos esses considerados suficientes para se determinar o período transiente, período em que a simulação não se estabiliza, nesse sistema não terminal ou contínuo (FREITAS FILHO, 2008). O intervalo entre o início desta simulação e o ponto em que a variável de controle se estabiliza, tempo médio de carregamento dos caminhões na área de transferência, definiu o tempo transiente. O tempo mínimo da simulação efetiva foi determinado por avaliação, utilizando-se o método da divisão da simulação em lotes, equação 22, ou o método das múltiplas replicações. Em ambos os casos, o semi-intervalo de confiança da variável de controle, ao nível de 95%, devia ser menor que 5% da média, como condição de verificação. (FREITAS FILHO, 2008).

$$TS = Tt + (n \times q \times Ta) \quad (22)$$

Em que:

TS = Tempo de simulação (min);

Tt = Tempo transiente (min);

n = Número de amostras;

q = Quantidade de observações;

Ta = Tempo de simulação em cada amostra (min).

A validação do modelo de simulação foi efetuada por meio do teste “t” de *Student* ao nível de significância de 5% (BANKS et al., 2004). Comparou-se as produções geradas pela simulação e os valores reais apontados nos relatórios gerenciais da usina ou da indústria de processamento da madeira, conforme o caso.

3.3.3. Mapeamento do fluxo do valor no estado presente

O mapeamento do fluxo de valor (MFV) do processo estado presente contém os indicadores de cada etapa e como se desenvolve o fluxo de informações do processo.

No processo de colheita mecanizada de cana de açúcar, figura 10, cada uma das etapas foi representada pela figura de um retângulo em que se inscrevem os indicadores: tempo de ciclo (TC), tempo de valor agregado (TVA), tempo médio de espera (Tesp), tempo médio de processamento incorreto (Tpi), eficiência operacional líquida (EFOPL), eficiência operacional (EFOP), eficiência de utilização (EFUT), eficiência de disponibilidade (EFDp), eficiência de aptidão (EFAP), eficiência global (EFGL) e eficiência global líquida (EFGLL).

Figura 10. Diagrama para mapeamento do fluxo do valor da colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC).

Na linha inferior são registrados os tempos de ciclo (TC) de cada etapa, abaixo do retângulo representativo da etapa do processo, e o tempo equivalente ao estoque em processo, entre cada etapa. O tempo de valor agregado total e o *lead time* do processo são apresentados ao final dessa linha.

O estoque de matéria prima em processo entre a colheita e a transferência de carga foi caracterizado pela espera do transbordo carregado aguardando transferência. O estoque entre a transferência e o transporte foi definido pelo tempo de espera do caminhão, até que se completasse sua capacidade (carga). O tempo em que os caminhões permaneciam na indústria sem descarregamento foi definido, também, como um estoque intermediário. Dessa forma, com a soma dos tempos de ciclo e tempos equivalentes aos estoques intermediários se obtém o *lead time* do processo.

Para o processo de colheita mecanizada da madeira se representou, no digrama para o MFV, cada etapa do processo por caixas com os indicadores: tempo de ciclo (TC), tempo de valor agregado (TVA), tempo médio de espera (Tesp), tempo médio de processamento incorreto (Tpi), eficiência geral líquida (EFGLL) (Figura 11).

Figura 11. Diagrama para mapeamento do fluxo do valor da colheita mecanizada da madeira (CMM).

Os tempos equivalentes aos estoques intermediários entre cada etapa foram caracterizados como tempo de espera por traçamento, entre as etapas de corte e traçamento, tempo de espera por baldeio, entre o traçamento da madeira e o baldeamento, tempo de espera por carregamento, entre as etapas de traçamento ou baldeio e o carregamento, e os tempo de espera na indústria, configurado pelos caminhões parados na indústria sem que se efetue o descarregamento. Os tempos de ciclo (TC) de cada etapa e os tempos equivalentes aos estoques intermediários foram também registrados na linha inferior. Relacionando-se o tempo de valor agregado total e *lead time* do processo ao final desta linha inferior.

3.4. Fase 3 - Análise de acordo com mentalidade enxuta e proposição de melhorias

As proposições de ações de melhoria são centradas na eliminação ou redução de todas as atividades no processo que não agregam valor sob o enfoque das necessidades do cliente. O MFV foi guiado tendo como base os 8 pontos propostos por Rother e Shook (2007), tabela 4.

Tabela 4. Oito pontos de análise do MFV (ROTHER; SHOOK, 2007)

Questões de análise do mapa de fluxo do valor no estado presente	
Básicas	1. Qual é o tempo <i>takt</i> e o <i>pitch</i> ? 2. A produção deve ir diretamente ao cliente ou a uma armazenagem intermediária? 3. Onde o fluxo contínuo de produção poderá ser utilizado? 4. Existe a necessidade da criação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo puxada? 5. Qual o ponto da cadeia de produção que será utilizado para a programação de produção?
Nivelamento de produção	6. Como será nivelada a produção na etapa que ditará o ritmo de processo? 7. Qual a quantidade de produto será consistentemente liberada pela operação que ditará o ritmo do processo?
Melhoria Contínua	8. Que melhorias serão necessárias no processo?

3.5. Fase 4 – Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado futuro e simulação

O MFV no estado presente foi redesenhado com a identificação e inclusão das alterações propostas nas análises. Este novo cenário modificado foi caracterizado como o MFV no estado futuro, cenário esse desenvolvido por meio de simulação computacional no mesmo modelo para simulação criado e validado na fase 2, porém com algumas condições alteradas. Os parâmetros, premissas e variáveis originais foram substituídos por estimativas nos pontos de implantação de melhorias. As referências utilizadas para as condições modificadas foram os resultados de melhorias semelhantes obtidas a partir da revisão de bibliografia.

3.6. Fase 5 – Verificação dos resultados.

Para constatação de que as alterações implementadas resultariam em um processo mais eficiente, a comparação entre os indicadores de desempenho foi feita para os dois cenários: presente e futuro. Utilizou-se outro módulo, específico para este fim, existente no sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos. Comparou-se as médias e semi-intervalos de confiança por meio do teste “t” de *Student* ao nível de significância de 5%. Novas análises para realização de outras ações de melhoria foram previstas, caso não houvessem diferenças nas comparações realizadas.

Ainda nesta fase, verificou-se a alternativa de uma eventual redução de necessidade de máquinas. Para tanto, comparou-se os cenários do MFV, estado presente e futuro, por meio das equações do algoritmo proposto por Milan (2004) adaptado de Mialhe (1974). O cálculo do tempo disponível é realizado por meio da equação 23,

com a observação de que a eficiência gerencial foi considerada como equivalente à eficiência de utilização (EFUT) proposta por Gonçalves, et al (1993), um dos indicadores de desempenho adotados.

$$TD = \{[Nt - (Ndf + Nimp)] \times JT \times EFUT\} \quad (23)$$

Em que:

TD = Tempo disponível (h);

Nt = Número de dias contido no período determinado para a realização da operação (d);

Ndf = Número de domingos e feriados, quando respeitados, existentes no período (d);

Nimp = Número de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas (d);

JT = Jornada de trabalho (h d⁻¹);

EFUT = Eficiência de utilização, utilizada como eficiência gerencial (%).

O número de conjuntos mecanizados ou máquinas necessários para atendimento à operação é dado pela equação 24.

$$NC = \frac{RO}{CTr} \quad (24)$$

Em que:

NC = Número de conjuntos mecanizados;

RO = Ritmo operacional (ha h⁻¹);

CTr = Capacidade de trabalho das máquinas agrícolas (ha h⁻¹).

O ritmo operacional necessário para atendimento da operação no período de tempo disponível foi obtido pela equação 25.

$$RO = \frac{At}{TD} \quad (25)$$

Em que:

At = Área a ser trabalhada (ha);

Considerando a capacidade de trabalho das máquinas igual a capacidade de campo operacional obtida pela equação 26, em que a eficiência de campo pode ser definida como o produto entre as eficiências de disponibilidade (EFDP), eficiência operacional (EFOP) e eficiência operacional líquida (EFOPL) e a capacidade de campo efetiva

$$CCO = CCE \times EFDP \times EFOP \times EFOPL \quad (26)$$

obtida pela equação 27.

Em que:

CCO = Capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);

CCE = Capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

EFDP = Eficiência de disponibilidade (%);

EFOP = Eficiência operacional (%);

$$CCE = \frac{Le \times Ve}{10} \quad (27)$$

EFOPL = Eficiência operacional líquida (%).

Em que:

Le = Largura efetiva de corte da máquina (m);

Ve = Velocidade efetiva da máquina (Km h⁻¹).

Fazendo-se as substituições das equações 25, 26 e 27 na equação 24 e obtém-se a equação 28 para o

$$NC = \frac{At}{\{[N_t - (Ndf + Nimp)] \times (JT \times EFUT \times CCE \times EFDP \times EFOP \times EFOPL)\}} \quad (28)$$

cálculo do número de conjuntos mecanizados ou máquinas necessários para atendimento à operação no período disponível.

Com um número de conjunto mecânicos existente no estado presente é possível verificar a quantidade necessária no cenário do estado futuro. Por meio da razão entre o número de conjuntos no estado futuro pelo número de conjuntos do estado presente. A capacidade de campo efetiva, o número de dias e a jornada de trabalho não têm alteração entre os cenários. Obteve-se, assim, a relação na qual tem-se o número de conjuntos mecanizados no estado futuro, a partir do número de conjuntos de mecanizados existentes no estado presente, e das eficiências: de utilização (EFUT), de disponibilidade (EFDP), operacionais (EFOP) e operacionais líquidas (EFOPL) (Equação 29).

Em que:

$$NC_f = NC_p \times \frac{EFDP_p \times EFOP_p \times EFOPL_p \times EFUT_p}{EFDP_f \times EFOP_f \times EFOPL_f \times EFUT_f} \quad (29)$$

NC_f = Número de conjuntos mecanizados no estado futuro;

NC_p = Número de conjuntos mecanizados do estado presente;

EFDP_f = Eficiência de disponibilidade no estado futuro (%);

EFOP_f = Eficiência operacional no estado futuro (%);

EFOPL_f = Eficiência operacional líquida no estado futuro (%);

EFUT_f = Eficiência de utilização no estado futuro (%);

EFDP_p = Eficiência de disponibilidade do estado presente (%);

EFOP_p = Eficiência operacional do estado presente (%);

EFOPL_p = Eficiência operacional líquida do estado presente (%);

EFUT_p = Eficiência de utilização do estado presente (%).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Três estudos de caso foram realizados e neles a metodologia de avaliação foi aplicada de forma similar. As características de cada um dos casos somente ocasionaram diferenças relacionadas à detalhes operacionais, que provocaram adaptações necessárias no equacionamento e da abordagem nas análises. Os estudos de caso 1 e 2 foram realizados com o processo de colheita mecanizada de cana de açúcar em Usinas e o estudo de caso 3 com o processo de colheita mecanizada de madeira em empreendimento florestal.

4.1. Estudo de caso 1: Colheita mecanizada de cana de açúcar (CMC)

O estudo caso 1 realizado em uma Usina produtora de açúcar e álcool a partir do processamento de cana de açúcar, localizada na região noroeste do Estado do Paraná.

4.1.1. Mapeamento de processo e da qualidade

O mapeamento do processo foi realizado por meio de observações realizadas no sentido inverso ao fluxo da matéria prima, da Usina para o campo e é representado pela figura 12.

Na figura 12 observa-se a existência de pontos de “esperas” aos quais, a princípio, foram analisados porque, frequentemente, esses pontos se tornam oportunidade de melhoria. O primeiro ponto existe porque os transbordos devem aguardar por um sinal em uma posição pré-determinada, realizado por meio de rádio comunicador, para se dirigir à colhedora. O segundo ponto ocorre porque os caminhões têm que esperar para que se acumule cana até que se atinja a capacidade de transporte. Foi observado que o fluxo de carregamento é irregular devido às descontinuidades que ocorrem durante colheita.

Figura 12. Mapa do processo colheita mecanizada de cana de açúcar – Estudo de caso 1.

Com base no mapeamento do processo, os mapas da qualidade da colheita, transbordo e transporte foram desenvolvidos. De acordo com o mapa da etapa relativo à colheita (Figura 13) existem situações em que os padrões de trabalho podem ser melhor definidos. Como por exemplo a ausência de um padrão de manobras para colhedoras e transbordos nas fazendas cujos talhões tenham sido sistematizados e planejados previamente para a colheita mecanizada. Constatou-se pelo mapeamento, também, a insuficiência de padrão e frequência das lubrificações e lavagem de máquina. O responsável pela frente de colheita é quem faz a avaliação do bom andamento do processo, pela realização das verificações das máquinas e do seguimento às instruções de trabalho. Isto toma parte da responsabilidade do operador da colhedora, porque este não se apropria diretamente dos resultados e dos problemas que surgem por uma operação com muita variabilidade.

As perdas de colheita são elevadas, da ordem de 6%, conforme informado pelos relatórios gerenciais e parte disso é causado por um corte inconstante, devido às irregularidades no solo, mas que poderia ser controlado pelo próprio operador da colhedora. Soluções como painéis de gestão à vista apresentando o desempenho esperado comparado com o realizado. Reuniões rápidas com os operadores em momentos que não afetem os tempos de máquina, são algumas ações, que já são utilizadas em outras usinas, e que poderiam contribuir para um melhor resultado do processo.

Colher	
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de trabalho de referência 4,0 a 4,5Km/h; cana crua 3,5/4,0 km/h; cana queimada 4,0/5,0 Km/h. • Não há padrão de manobras • Check-list de máquina semanal realizado pelo Líder de Frente. • Lubrificação/lavagem de máquina: diário
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Gestão Informatizado que fornece: Tempos de eventos não produtivos; velocidade das colhedoras (individualmente), etc • Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> • Quebra de máquinas. • Tempo de manobra com grande variação • Falta de carreador para manobra em fazendas não sistematizadas. • Falta de sitematização das áreas de colheita. • Talhão com linhas que dificultam a colheita. • Lavagem de máquina após longas paradas por outros motivos. • Corte fora de padrão. • Perdas excessiva. • Falta de Transbordo.
Testes e Resultados	

Figura 13. Mapa da qualidade da operação de colheita – Estudo de caso 1.

Uma das maiores causas de espera no processo de colheita é a falta de transbordo para acompanhamento da colhedora, segundo informações dadas pelos gestores do processo. A explicação para este fato não é única, pois o transbordo pode não estar disponível por não ter feito a transferência da carga colhida ou estar inoperante devido a falhas de funcionamento. Durante as observações o número de transbordos dedicados à frente de colheita estava reduzido por problemas de manutenção mecânica, o que agravou os intervalos de tempos de parada das colhedoras. A sincronização das operações de transbordo e transporte são fundamentais para um bom funcionamento do processo.

No mapa da qualidade do transbordo (Figura 14) foi identificado, sobretudo, que também não há uma padronização da manobra de cabeceira e que existem dificuldades no emparelhamento entre o transbordo e a colhedora, o que podem gerar perdas de material colhido. Por meio das observações realizadas no local, algumas irregularidades foram verificadas, tais como ocorrências de sobre cargas que permitem perda de cana durante o traslado do transbordo até o ponto de transferência, assim como mau aproveitamento da capacidade. Muitas falhas mecânicas inesperadas também foram constatadas, além de problemas de comunicação entre transbordo e colhedoras. Percebeu-se que existe a possibilidade de que o operador tenha uma atribuição maior no sentido da obtenção de melhor desempenho do processo.

Quanto ao transporte (Figura 15), observou-se que a frota é composta por veículos em boas condições gerais de funcionamento, apesar de que foram relatados problemas recorrentes relacionados às falhas de funcionamento. O mapa da qualidade do transporte de cana exibe que a padronização da atividade é muito pequena como, por exemplo, problemas com sinalização nas fazendas onde se realiza a colheita causando atrasos nos deslocamentos. Foram constatadas, ocasiões em que os pontos onde ocorrem as transferências não foram previamente determinados, acarretando na utilização de locais que dificultavam toda a operação de transferência.

	Carregamento simultâneo com colhedora	Levar carga para a área de transferência	Bascular carga no caminhão de transporte	Aguardar chamada para carregamento com colhedora	Ir ao local onde se encontra a colhedora
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Não há padrão de Manobra. Limite de carregamento visual. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência para deslocamento cheio 10km/h. 	<ul style="list-style-type: none"> Sob orientação dos Ajudantes de área. 	<ul style="list-style-type: none"> Fila. Atendimento à colhedora que tem transbordo com carga pela metade. Local de espera pré-determinado. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência para deslocamento cheio 35km/h.
Métodos / Controle de Medição	Não há.	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores de colheita compartilhados em área de "vivência" móvel na frente de colheita. Indicadores Gerados pelo sistema de monitoramento computacional 	<ul style="list-style-type: none"> Auditorias. 	Não há.	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores de colheita compartilhados em área de "vivência" móvel na frente de colheita. Indicadores Gerados pelo sistema de monitoramento computacional
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de Máquina Manobra longa ou fora de padrão. "Pisoteio". Falta de Operador Dificuldade de emparelhamento com colhedora Carga excessiva. Pouco carregamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade muito grande do trajeto. Quebra de máquina. Perda de carga pelo caminho. 	<ul style="list-style-type: none"> Perda de carga. Demora para organização e equalização das cargas no transporte. Falta de Transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Colhedora quebrada com solicitação de transbordo. Sequência quebrada. Falta de comunicação. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de máquina.
Testes e Resultados					

Figura 14. Mapa da qualidade da operação de transbordo – Estudo de caso 1.

	Receber Carga do Transbordo	Aguardar outro carregamento	Transportar carga para Usina	Pesar carga	Sondagem da carga	Descarregamento	Pesagem vazio	Deslocamento Vazio
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de Posicionamento Sinalização padrão com a utilização de cones. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há atividades para o motorista durante o tempo de espera para o carregamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência 70 km/h Trajetos definidos e sinalizados. Comunicação de problemas no trajeto via rádio. 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de informações a serem fornecidas e recebidas (Documentos) Sinais para aproximação e saída. 	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento padrão Liberação para movimentação Norma de Segurança. 	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento padrão Liberação para movimentação 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de informações. Sinais para aproximação e saída. Definição de destino. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência 70 km/h Trajetos definidos e sinalizados. Comunicação de problemas no trajeto via rádio.
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> Controle do Supervisor de colheita. 	Não há,	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores Gerados pelo sistema de monitoramento computacional. 	Não há.	<ul style="list-style-type: none"> Sistema que impede permanência do Motorista na cabine do caminhão durante sondagem. 	Não há	Não há	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores Gerados pelo sistema de monitoramento computacional.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> Acesso ruim. Sem sinalização. Local em aclive ou declive. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividades não definidas Excesso de tempo em espera. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra do veículo. Trajetos não definidos ou mal sinalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> Balança sem funcionamento. Ausência de documentação adequada. 		<ul style="list-style-type: none"> Equipamento sem funcionamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Balança sem funcionamento. Ausência de documentação adequada. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra do veículo. Trajetos não definidos ou mal sinalizados.
Testes e Resultados								

Figura 15. Mapa da qualidade do transporte – Estudo de caso 1.

4.1.2. Tempos operacionais

As determinações dos tempos das atividades de cada etapa do processo foram realizadas. Na etapa de colheita, 173 “tiros” foram cronometrados com comprimento médio de 1037 m, obtendo-se os valores de tempos do fluxo de colheita, 161 tempos de manobra da colhedora e transbordo foram obtidos. Os dados de deslocamentos dos transbordos foram registrados por meio de 30 deslocamentos vazios e 30 deslocamentos carregados. Na transferência da carga colhida para o transporte obteve-se 55 tempos na amostragem, no transporte entre área de colheita e indústria foram coletados dados em 28 traslados carregados e 23 traslados vazios. Completando a coleta dos tempos por cronometragem, 27 amostras foram obtidas em cada uma das atividades realizadas no pátio da indústria.

Os relatórios das ocorrências de colheita, referentes ao intervalo entre os dias 01/04/2015 e 31/07/2015, totalizando 120 dias de registros pelo sistema computacional de gestão dos equipamentos da frente de colheita, foram tabuladas de forma a se obter os tempos de cada ocorrência e os tempos dos intervalos entre ocorrências. As perdas de colheita diárias, referentes ao mesmo período, foram organizadas.

As funções densidade de probabilidade (Tabela 5) que, estatisticamente, melhor se ajustaram aos histogramas construídos foram definidas a partir dos respectivos dados coletados, por meio de módulo específico no sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos. Em cada caso, os testes de Kolmogorov-Smirnov ou qui-quadrado com $p\text{-value} > 0,10$ foram realizados. Para as velocidades de deslocamento vazio e carregado dos caminhões, nenhuma função densidade de probabilidade foi identificada que atendesse o critério de teste. Assim, funções discretas foram definidas para representar as variações de velocidade no modelo. As distâncias referentes aos deslocamentos dos transbordos e caminhões, foram definidas por números determinísticos equivalentes às médias simples dos valores coletados. As funções densidade de probabilidade definidas, referentes às interrupções de processo, são apresentadas nos anexos A e B para a etapa de colheita, anexo C para a etapa de transbordo e anexo D para a etapa de transporte.

Um histograma referente à produção da colhedora, na forma em que o sistema computacional desenvolve é apresentado na figura 16. No caso a distribuição triangular foi a de melhor ajuste, com $p\text{-value}$ maior que 0,15 no teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 5. Funções definidas para as atividades operacionais do processo.

Atividade	Máquina / Equipamento	Distribuição ajustada	Unidade
Colheita	Colhedora	TRIA(0.65, 0.863, 1.22)	min t ⁻¹
Perdas	Colhedora	-0.001 + 0.201 * BETA(2.65, 6.49)	%
Transferência	Transbordo	NORM(3.91, 0.949)	min
Velocidade vazio	Transbordo	37 + 211 * BETA(0.589, 1.03)	m min ⁻¹
Velocidade cheio	Transbordo	TRIA(78, 138, 198)	m min ⁻¹
Distância deslocamento vazio	Transbordo	1592	m
Distância deslocamento carregado	Transbordo	1181	m
Velocidade vazio	Caminhão	CONT (0.000, 384.000, 0.200, 400.000, 0.200, 416.000, 0.400, 432.000, 0.600, 448.000, 1.000, 464.000)	m min ⁻¹
Velocidade cheio	Caminhão	CONT (0.000, 200.000, 0.143, 241.800, 0.429, 283.600, 0.429, 325.400, 0.714, 367.200, 1.000, 409.000)	m min ⁻¹
Distância deslocamento	Caminhão	12100	m
Pesagem cheio	Caminhão	0.7 + WEIB(0.714, 2.47)	min
Deslocamento balança sonda	Caminhão	0.67 + 1.24 * BETA(0.703, 0.446)	min
Sondagem	Caminhão	8.16 + 0.77 * BETA(0.619, 0.631)	min
Deslocamento sonda hilo	Caminhão	0.62 + 2.38 * BETA(0.52, 1.08)	min
Deslocamento hilo balança	Caminhão	TRIA(1.03, 1.04, 1.07)	min
Pesagem vazio	Caminhão	0.49 + LOGN(0.998, 0.673)	min

Nota: TRIA = distribuição triangular, BETA = distribuição beta, NORM = distribuição normal, CONT= distribuição empírica contínua ou discreta, WEIB = distribuição de Weibull e LOGN = distribuição lognormal.

Figura 16. Representação de histograma dos dados de colheita realizada em módulo de análise em sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos – Estudo de caso 1.

4.1.3. Desenvolvimento do modelo computacional para simulação

Com os dados coletados desenvolveu-se o modelo a ser executado no sistema computacional de simulação de eventos discretos. A simulação inicial foi de quarenta dias e uma única repetição. Utilizando-se a

variável de controle, tempo de carregamento dos caminhões na área de transferência, estabeleceu-se o tempo transiente, tempo para estabilização do resultado da variável, de 2.000 minutos, por observação gráfica.

Na definição do tempo mínimo de simulação, por meio da simulação inicial, executado no módulo de análise do sistema computacional em lotes de 50 observações, obtém-se que lotes de 20 observações resultam em um menor valor de correlação (Figura 17). Assim, multiplicando-se por um fator de segurança 10, adotou-se lotes com 200 observações para se garantir a necessária independência (FREITAS FILHO, 2008).

Figura 17. Gráfico de correlação para o número de observações entre lotes na simulação inicial.

O tempo de cada observação foi de 42,26 minutos, com inicialmente 15 amostras e obteve-se o tempo de simulação de 90 dias. Porém, após o processamento, o valor do semi-intervalo de confiança encontrado foi maior que 5% do valor médio. O recálculo foi procedido e o número de amostras passou a ser de 40 e o tempo de simulação para 227 dias, resultando em valores da variável de controle dentro da referência esperada.

Como se dispunham de 120 dias de dados reais para a comparação com os dados da simulação, decidiu-se adotar 120 dias e 10 replicações. Com estes parâmetros de simulação se obteve o semi-intervalo de confiança da variável de controle menor que 5% do valor médio.

Na figura 18, fornecida pelo sistema computacional de simulação, observam-se os resultados desta análise, apresentando os valores médios (*average*), semi-intervalo (*half-width*), desvios padrão (*standard deviation*), valores mínimos (*minimum value*), valores máximos (*maximum value*) e números de observações (*number of obs.*). As três possibilidades de tempo de simulação foram analisadas para o intervalo de confiança de 95%. O resultado para a variável de controle obtido é representado na figura. Cada linha do gráfico refere-se a uma das três possibilidades de tempo de simulação e, abaixo das linhas, o resultado numérico correspondente.

Figura 18. Intervalos de confiança para a variável de controle em simulações com tempos equivalentes a 90 dias, 227 dias e 120 dias com 10 replicações.

A primeira representação no gráfico se refere ao tempo de simulação equivalente a 90 dias, com um tempo médio carregamento dos caminhões de 41,0 minutos, em que o semi-intervalo de 3,28 minutos corresponde a 8% da média, resulta em intervalo entre 37,70 minutos e 44,20 minutos. O desvio padrão é de 5,93 minutos, o tempo mínimo de 36,90 minutos e o tempo máximo de 57,70 minutos para lotes de 15 observações.

O resultado para o tempo de simulação equivalente a 227 dias, segunda representação gráfica, resultou em um tempo médio de 40,1 minutos e semi-intervalo de 1,39 minutos, o que representa 3,47% do tempo médio. O desvio padrão foi de 4,36 minutos, o tempo mínimo de 35,90 minutos, o tempo máximo de 57,70 minutos, com 40 observações por lote.

O tempo de simulação equivalente a 120 dias e 10 replicações, terceira representação gráfica, resultou em um tempo médio de 40,2 minutos e semi-intervalo de 1,74 minutos, significando 4,33% do tempo médio, desvio padrão 2,43 minutos, tempo mínimo de 37,40 minutos, tempo máximo de 44,70 minutos. Com esses resultados considerados, o tempo de simulação foi definido para o equivalente a 120 dias e 10 replicações, pois atende ao critério estabelecido inicialmente, o valor do semi-intervalo é menor do que 5% do valor médio da variável de controle.

Na validação do modelo desenvolvido foi utilizada a comparação das médias diárias de produção real e da simulação, em toneladas. As médias da produção por colhedora da frente, foram extraídas do relatório de produção entre os meses de abril e julho de 2015 e as médias de produção simulada pelo período equivalente a 120 dias de trabalho. O teste “t” de *Student* encontrou o módulo do valor da estatística “t” igual a 0,942 ao nível de 5% de significância, menor do que o valor crítico encontrado de 1,979, o que representa que não pode ser afirmado que existem diferenças entre as médias a este nível de significância. Portanto, pelo critério adotado, o modelo para a

Tabela 6. Validação do modelo de simulação: média produção diária por colhedora. Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

Variável	Comparação	
	Real	Simulada
Média ($t\ d^{-1}$)	393,74	399,52
Variância ($t^2 d^{-2}$)	4382,1	126,51
Observações	120	120
Hipótese da diferença de média	0	
gl	126	
Stat t	-0,94232	
P(T<=t) uni-caudal	0,173917	
t crítico uni-caudal	1,657037	
P(T<=t) bicaudal	0,347834	
t crítico bicaudal	1,978971	

simulação está validado (Tabela 6).

4.1.4. Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado presente

A simulação foi executada a partir do modelo validado e intervalo de tempo definido. O mapa do fluxo do valor delineado foi incluído no modelo com a finalidade de que os indicadores de desempenho definidos fossem automaticamente atualizados, à medida que o processamento ocorresse. Dessa forma, obteve-se, ao final de uma das replicações, o mapeamento numericamente completo (Figura 19).

Figura 19. Indicadores em uma das replicações do mapeamento do fluxo do valor no estado presente.

Na configuração do MFV no estado presente do processo, se determinou a quantidade de estoque intermediário entre as etapas do processo. A classificação das atividades e ocorrências das etapas do processo foram realizadas e o resultado, apresentado na tabela 7 para as colhedoras, tabela 8 para o transbordo e tabela 9 para o transporte.

Tabela 7. Classificação dos tempos para a etapa de colheita.

Atividade	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Manobra	Acessórios	Processamento Incorreto
Lavagem colhedora	Auxiliar	Esperas
Troca de Facas	Auxiliar	Esperas
Abastecimento/lubrificação	Auxiliar	Esperas
Locomoção com prancha	Auxiliar	Transporte
Deslocamento lavoura	Auxiliar	Transporte
Teste de oficina	Manutenção	Esperas
Operador mantenedor	Manutenção	Esperas
Problema Mecânico no campo	Manutenção	Processamento incorreto
Oficina mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Aguardando transbordo	Perdido	Esperas
Troca de turno	Perdido	Processamento incorreto
Encalhada	Perdido	Processamento incorreto
Outras esperas	Perdido	Esperas

Tabela 8. Classificação dos tempos para a etapa de transbordo.

Atividade	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Espera na Fila	Acessório	Processamento incorreto
Abastecimento/lubrificação	Auxiliar	Esperas
Limpeza máquina/implemento	Auxiliar	Esperas
Operador mantenedor	Manutenção	Esperas
Teste de oficina	Manutenção	Esperas
Problema mecânico campo	Manutenção	Processamento incorreto
Oficina mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Aguardando transporte	Perdido	Esperas
Troca de turno	Perdido	Processamento incorreto
Encalhado	Perdido	Processamento incorreto
Falta do motorista/operador	Perdido	Processamento incorreto

Tabela 9. Classificação dos tempos para a etapa de transporte.

Atividade	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Deslocamento vazio	Acessórios	Transporte
Espera na fila	Acessórios	Processamento Incorreto
Abastecimento/lubrificação	Auxiliares	Esperas
Limpeza máquina/implemento	Auxiliares	Esperas
Operador mantenedor	Manutenção	Esperas
Teste de oficina	Manutenção	Esperas
Problema mecânico campo	Manutenção	Processamento Incorreto
Oficina mecânica	Manutenção	Processamento Incorreto
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Aguardando transporte	Perdidos	Esperas
Troca de turno	Perdidos	Processamento Incorreto
Encalhado	Perdidos	Processamento Incorreto
Falta do motorista/operador	Perdidos	Processamento Incorreto

Para as colhedoras, somente a colheita especificamente foi considerada atividade que agrega valor. Para os transbordos, o deslocamento carregado e o descarregamento foram definidos como atividades que agregam valor. Da mesma maneira, deslocamento carregado e descarregamento foram as atividades que agregam valor na etapa de transporte. Os tempos das atividades que agregam valor (TVA) foram também classificados como tempos produtivos líquido (TPRL). O tempo de ciclo (TC) foi definido como o tempo de valor agregado (TVA) adicionado aos tempos acessórios (TAC).

Os valores apontados no MFV foram tabulados para favorecer a verificação e comparação dos resultados (Tabela 10), inclusive com os indicadores para a frente de colheita como um todo.

Tabela 10. Indicadores apontados no mapa de fluxo do valor no estado presente.

Etapa	Resultados				Etapa	Resultados			
	Indicador	Unidade	Valor	Semi-intervalo		Indicador	Unidade	Valor	Semi-interval
Colheita	TC	min	96,22	1,56	Transbordo	TC	min	318,92	4,97
	TVA	min	61,47	0,04		TVA	min	258,49	6,81
	Tesp	min	77,03	5,64		Tesp	min	28,86	1,25
	Tpi	min	13,73	8,09		Tpi	min	84,79	6,58
	EFOPL	%	63,91	1,02		EFOPL	%	81,10	2,61
	EFOP	%	74,38	0,41		EFOP	%	98,62	0,07
	EFAT	%	77,92	4,29		EFAP	%	100,00	0,00
	EFUT	%	88,96	3,27		EFAT	%	81,81	4,12
	EFDP	%	89,32	0,49		EFUT	%	92,62	0,09
	EFAP	%	100,00	0,00		EFDP	%	95,63	0,12
	EFGL	%	45,90	1,10		EFGL	%	71,46	3,66
	EFGLL	%	29,35	1,16		EFGLL	%	57,80	1,46
Transporte	TC	min	61,49	2,04	Frente de colheita	EFOPL	%	75,47	1,40
	TVA	min	39,70	2,13		EFOP	%	92,30	0,32
	Tesp	min	2,98	0,20		EFAT	%	80,02	4,33
	Tpi	min	24,65	1,01		EFUT	%	89,84	0,97
	EFOPL	%	63,91	1,02		EFDP	%	82,82	0,75
	EFOP	%	96,69	0,28		EFAP	%	100,00	0,00
	EFAT	%	75,80	5,22		EFGL	%	60,91	2,84
	EFUT	%	80,07	0,82		EFGLL	%	45,91	1,50
	EFDP	%	82,82	0,75					
	EFAP	%	100,00	0,00					
	EFGL	%	48,56	3,04					
	EFGLL	%	31,39	2,64					

Nota: TC=Tempo de ciclo; TVA=Tempo de valor agregado; Tesp=Tempo de espera; Tpi=Tempo de processamento incorreto; EFOPL=Eficiência operacional líquida; EFOP=Eficiência operacional; EFAT=Eficiência de aptidão; EFUT=Eficiência de utilização; EFDP=Eficiência de disponibilidade; EFAP=Eficiência de aproveitamento; EFGL=Eficiência global; EFGLL=Eficiência global líquida.

4.1.5. Análise do MFV no estado presente de acordo com mentalidade enxuta

Conforme o guia publicado por Rother e Shook (2007) existem oito pontos de análise referentes a um mapeamento do fluxo do valor (MFV), apresentados na tabela 4, página 53.

Para o primeiro ponto, o valor do tempo *takt*, para uma demanda diária atribuída para a frente colheita de 2650 t e um tempo disponível diário de 1440 minutos, resulta em 0,54 minutos por tonelada. Este seria o intervalo de tempo para entrada de uma tonelada de cana na indústria. Neste caso o número não é conveniente, porque a entrega de cana de açúcar não se faz de uma forma contínua, pois os caminhões descarregam, em média, 64 toneladas por vez. Assim, o valor calculado do *pitch* (PT) igual a 34,78 minutos, tem um maior aproveitamento para análise, pois este é o intervalo que deveria haver o descarregamento de um caminhão vindo da frente em análise.

O segundo ponto questiona se a produção deve ir diretamente ao cliente ou a uma armazenagem intermediária. Devido às características da colheita mecanizada da cana de açúcar, o colmo picado, rebolo, quando armazenado pode sofrer perdas em suas características físico-químicas, principalmente fatores relacionados à

sacarose aparente (POL) e açúcares redutores totais (ATR). Portanto a armazenagem intermediária, neste caso, deve ser evitada.

O terceiro ponto refere-se ao local onde o fluxo contínuo de produção poderá ser utilizado. O fluxo deste processo é pressuposto como contínuo, mas existem situações de espera com transbordo e caminhões carregados. Foi encontrado o valor de 19,03 minutos como tempo médio de transbordo carregado aguardando transporte, tempo que deve ser eliminado ou reduzido. Para o tempo médio de carregamento dos caminhões foi computado 8,77 minutos. O tempo médio de 23,99 minutos de permanência do caminhão carregado na área industrial também pode ser melhorado.

O quarto ponto questiona a necessidade da criação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo puxada. A mesma razão da não existência de um posto de estocagem antes do envio à indústria no segundo ponto dá resposta ao quarto ponto.

Para o quinto ponto, o local da cadeia de produção que será utilizado para a programação de produção, foi considerado que a melhor posição para se fazer este acompanhamento seria a entrada dos caminhões na área industrial, no posto de pesagem. Como a menor quantidade de cana de açúcar entregue corresponde à carga de um caminhão, e que com esta característica se calculou o *pitch*, é oportuno que se faça o controle de produção da frente de colheita por este indicador de tempo. A cada intervalo correspondente ao *pitch*, 34,78 minutos, deve haver a chegada de um caminhão, referente à frente de colheita, para o descarregamento.

O sexto ponto avalia o nivelamento da produção na etapa que ditará o ritmo de processo. Para esta análise deve-se verificar o balanceamento operacional das etapas em relação ao *pitch*, intervalo de tempo em que devem haver as entregas de cargas equivalentes à capacidade média dos caminhões, 64 t. Os valores de tempo de ciclo calculados na simulação representam os tempos produtivos que cada etapa deve executar para se ter o equivalente à capacidade média atribuída aos caminhões. Ao se dividir os tempos de ciclo pelo número de equipamentos existentes em cada etapa, observa-se que os tempos de ciclo de cada colhedora é de 19,24 minutos e de cada caminhão de 15,37 minutos, ambos inferiores ao *pitch* de 34,78 minutos, porém o tempo de ciclo relativo a cada transbordo, 31,89 minutos, é próximo deste valor, como pode ser observado pela figura 20. A situação ideal seria a de que houvesse o equilíbrio de tempos de ciclos entre as etapas, o que poderia ser obtido com o aumento do número de transbordos para 15, resultando em um tempo de ciclo 21 minutos ou a redução do número de colhedora para 3 e caminhões para 2, resultando em tempos de ciclo 32 minutos e 31 minutos respectivamente. O que se pode compreender é que, em teoria, existe uma ociosidade na operação das colhedoras e no transporte e restrições nas operações do transbordo. Como o tempo de ciclo não considera as perdas e desperdícios que ocorrem, existe a possibilidade de que não se atenda a demanda mais facilmente devido a problemas nos transbordos. A opção com menor número de recursos pode ser efetivada, mas, para isso, é imprescindível a redução das perdas na operação, para que haja menor possibilidade de interrupções no fornecimento à Usina.

O número teórico encontrado para o número de máquinas e veículos, calculados a partir do *pitch*, foi de 3 colhedoras, 10 transbordos e 2 caminhões, o que, comparando-se ao número real de equipamentos existente na frente de colheita, 5 colhedoras, 10 transbordos e 4 caminhões observa-se que não há balanceamento nos tempos entre as 3 etapas do processo, notadamente podem haver restrições na operação do transbordo.

Figura 20. Balanceamento do processo – Estudo de caso 1.

Avaliou-se que apesar do desbalanceamento existente, teoricamente o *pitch* seria atendido, com um número de colhedoras e caminhões teoricamente ociosos. O ritmo seria ditado pela entrada dos caminhões na Usina. Contudo, o resultado da simulação para tempo médio entre chegadas de caminhões indica o valor de 46,29 minutos, o que não satisfaz a necessidade do cliente. O tempo realizado é maior porque existem uma série de perdas em todo processo a serem eliminadas ou reduzidas. Na prática, durante o tempo em que se fez as observações para levantamento dos tempos, trabalhou-se com 8 transbordos, fazendo aumentar o tempo de espera das colhedoras.

O Sétimo ponto é a quantidade de produto que será consistentemente liberado pela operação que ditará o ritmo do processo. O ritmo do processo pode ser ditado a partir da entrega na indústria efetuada pelos caminhões. Com o *pitch* calculado, pode-se planejar e organizar a colheita utilizando este parâmetro. Se a necessidade na indústria variar, o *pitch* deve ser recalculado. Pode-se, desta maneira, planejar a utilização e manutenções preventivas das colhedoras, transbordos e caminhões.

O oitavo ponto, as melhorias para tornar o processo enxuto, basearam-se nas análises feitas, em função dos princípios da mentalidade enxuta, nos mapas de processo, da qualidade, do MFV e dos indicadores de desempenho.

Abordando inicialmente a eficiência operacional líquida referente às colhedoras (EFOPL), tem-se o resultado de 63,91%, significando que os tempos acessórios ocupam 36,09% do tempo produtivo da colhedora. Ainda que Gonçalves et al. (1993) refiram-se a estes tempos como de interesse apenas em medições instantâneas de campo, o tempo acessório considerado para a colhedora no modelo para simulação foi o intervalo de tempo em que o transbordo realiza a manobra de cabeceira. Não foi considerado o tempo realizado pela colhedora, pois esta espera pelo transbordo para dar continuidade ao corte. A melhoria seria a padronização da manobra do transbordo de maneira que seja simultânea à colhedora, por meio de estudos dos talhões. Utilizando-se de um algoritmo conforme proposto por Spekken e De Bruin (2013), pode-se alcançar reduções de tempo de manobra de até 50,00%.

As perdas ocorridas durante o corte podem ter um melhor resultado, no caso estudado a perda média de colheita é de 6,00%. Em trabalho de avaliação da implantação da metodologia da manutenção produtiva total (MPT), Neves (2011) menciona redução de 28,35% nas perdas do corte na colheita mecanizada da cana de açúcar, com ações de padronização de regulagens de máquina, treinamento e comprometimento dos operadores com auxílio da gestão à vista nas frentes de colheita. Assim, propõe-se ações equivalentes e espera-se os mesmos ganhos na redução das perdas na colheita.

Existem oportunidades de melhoria nos tempos auxiliares. A eficiência operacional (EFOP) obtida pela simulação foi de 74,38% para as colhedoras, 96,69% para os caminhões e de 98,62% para os transbordos. Para as colhedoras, os tempos de lavagem de máquina, abastecimento/lubrificação e troca de facas podem ser realizados de uma forma padronizada obtendo-se menos desperdícios relacionados às esperas. No caso dos transbordos, os tempos de limpeza, abastecimento e lubrificação, e os caminhões, as tarefas de verificação dos pneus, abastecimento e lubrificação. Constata-se que a padronização das atividades oferece a possibilidade de redução dos tempos destas tarefas. Em trabalho de implantação da mentalidade enxuta com uso do MFV em fabricante de componentes de locomotivas na Índia, Singh et al. (2010) verificaram a redução de 12,62% no *lead time* do processo com redução dos tempos que podem ser considerados equivalente aos tempos auxiliares no presente estudo, desta forma, tal redução pode ser considerada viável.

A eficiência de disponibilidade (EFDP) reflete o quanto as interrupções para manutenção reduzem o tempo disponível para o trabalho. A EFDP das colhedoras, transbordos e caminhões foi respectivamente de 88,96%, 92,62% e 80,07%, sendo que a manutenção preventiva das colhedoras ocupou 0,04% do tempo total de simulação e nenhuma manutenção preventiva foi registrada para os transbordos e caminhões. O que se pode propor são ações de realização de manutenção preventiva programada regularmente e padronização de algumas atividades de manutenção preventiva em que os próprios operadores possam executar, o que se pode considerar como manutenção produtiva total (MPT). Neves (2011) verificou ganhos de 12,12% para colhedoras e 21,24% para os transbordos em colheita mecanizada de cana de açúcar, com a utilização dos conceitos da manutenção produtiva total (MPT). Em estudo realizado em processo de usinagem de metais, com diversas máquinas com controles numéricos computadorizados, Singh et al. (2013) encontraram um aumento de disponibilidade de 9,00% com a utilização da manutenção produtiva total e aumento do tempo entre as paradas para realização de manutenções após a ocorrência de falhas em 16,50%. Logo, com as ações propostas, esperam-se reduções semelhantes, e este valor será utilizado para simular o estado futuro.

Referindo-se aos tempos classificados como perdidos, medidos pela eficiência de utilização (EFUT), tem-se 88,96%, 92,62% e 80,07% para as colhedoras, transbordos e caminhões respectivamente, podendo ter melhor desempenho em todos os casos.

O tempo de troca de turno e as situações em que a colhedora encalha, são classificados como perda do tipo processamento incorreto. A redução destas perdas pode ser obtida padronizando a troca de turno e aprimorando a habilidade do operador com treinamento. Simons e Zokaei (2005) apontam redução de 25,00% nos tempos perdidos em estudo da cadeia de suprimentos de carne no Reino Unido. Este valor de redução no tempo para a troca de turno e tempo de encalhe das colhedoras será empregado na simulação do estado futuro.

Os transbordos e caminhões tem tempos perdidos nas trocas de turno, falta de operador/motorista, além de encalhes, atolamento dos transbordos e aguardando programação no caso dos caminhões. Esses tempos foram classificadas como processamento incorreto e não tem um padrão definido para estas situações. Recomenda-se que se crie um mapa de fluxo padrão para ações que evitem a falta de operador/motorista, padronização das trocas de turno e passagem de programação aos motoristas, melhoria de habilidade e treinamento dos operadores de transbordo para evitar o encalhe. As reduções dos tempos perdidos previstas são da ordem de 33,61% para os transbordos, equivalente ao apresentado por Arbós (2002) e de 64,58% para os caminhões como apresentado por Bonaccorsi, Carmignani e Zammori (2011), em estudos em aplicação da mentalidade enxuta na área de serviços.

Os tempos de espera dos caminhões em filas nas pesagens, sondagem e descarregamento, devem ser reduzidos. Para que isso aconteça, deve-se implementar pequenas melhorias realizadas com a padronização destas

atividades, reduzindo-se as filas. A redução a ser considerada no tempo será a mesma da pesquisa de Simons e Taylor (2007) em cadeia de suprimentos no Reino Unido, em que mencionam uma redução de 20,00% no *lead time* do processo em ações de melhoria semelhantes.

Para as colhedoras o tempo de valor agregado médio, TVA, encontrado foi de 61,47 minutos enquanto o valor dos tempos desperdiçados por espera, T_{esp}, foi de 77,03 minutos e os tempos desperdiçados por processamento incorreto, T_{pi}, 13,73 minutos. As esperas e processamentos incorretos tomam mais tempo da colhedora do que a atividade para a qual ela foi projetada. Para os transbordos, o TVA de 258,49 minutos, o T_{esp} igual a 28,86 minutos e T_{pi} 84,79 minutos, igualmente muito tempo em atividades que não agregam valor.

Os caminhões, por sua vez, obtiveram valores de 39,79 minutos para o TVA, 24,65 minutos para T_{pi} de e 2,98 minutos para T_{esp}. Os tempos de “problemas mecânico no campo”, “oficina mecânica”, “aguardando borracharia”, “troca de turno”, “aguardando programação”, “falta de motorista”, poderiam ser evitados por meio de uma melhor organização, trabalho preventivo e padronização.

O conjunto de melhorias propostas, então, podem ser observadas na tabela 11, o que ao ser aplicada transforma o cenário apresentado no mapa do fluxo de valor no estado presente, criando um novo cenário, denominado, então, mapa do fluxo do valor (MFV) no estado futuro. Estas melhorias foram efetuadas por meio de modificações no modelo de simulação, de acordo com as respectivas propostas de melhoria ao processo. Os valores percentuais de redução esperada foram aplicados como fatores de multiplicação direta às funções que representam a perda ou atividade, conforme o caso.

Tabela 11. Propostas de melhorias para o processo – Estudo de caso 1.

Melhoria	Resultado Esperado	Referência
Padronizar manobra de transbordo e sistematização dos talhões para que o tempo seja de no máximo 20% superior ao da colhedora	Redução em 59% na média dos tempos acessórios, TAC, da Colhedora	(SPEKKEN; DE BRUIN, 2013)
Padronização de técnicas de corte; gestão à vista	28,35% de redução nas perdas de colheita	(NEVES, 2011)
Redução dos Tempos Auxiliares das colhedoras: redução nos tempos de Lavagem Colhedora; Troca de Facas; Abastecimento/Lubrificação. Através da padronização de atividades	Redução em 12,62% relacionados a esperas	(SINGH, et al., 2010)
Redução dos Tempos Auxiliares dos transbordos: redução nos tempos de Limpeza de Máquina/Implemento; Abastecimento/Lubrificação. Através da padronização de atividades	Redução em 12,62% relacionados a esperas	(SINGH, et al., 2010)
Redução dos Tempos Auxiliares das colhedoras: redução nos tempos de Fazendo Ar/Bate Pneu/Outros; Abastecimento/Lubrificação. Através da padronização de atividades	Redução em 12,62% relacionados a esperas	(SINGH, et al., 2010)
Redução dos Tempos de Manutenção das colhedoras, transbordos e Caminhões por meio de manutenção preventiva eficaz e técnicas de manutenção produtiva total (MPT). Inclusão de tarefas de manutenção preventiva periódica nos transbordos e caminhões	Aumento do intervalo entre falhas em 16,50% Redução do Tempo de parada em 9,00%	(SINGH, et al., 2013); (NEVES, 2011)
Redução dos Tempos Perdidos por meio da padronização de atividades das Colhedoras de Troca de Turno; reduzir encalhamento.	Redução de 25% relacionados a esperas	(SIMONS; ZOKAEI, 2005)
Redução dos Tempos Perdidos por meio da padronização e mapeamento do processo de atividades do Transbordo: Troca de Turno; Falta do Motorista/Operador. Reduzir encalhamento	Redução de 33,61% relacionados a esperas	(ARBÓS, 2002)
Redução dos Tempos Perdidos por meio da padronização e mapeamento do processo de atividades dos Caminhões: Troca de Turno; Aguardando Programação, Falta do Motorista/Operador.	Redução de 64,58% relacionados a esperas	(BONACCORSI; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2011)
Redução de tempo de permanência dos caminhões na indústria, operações: descarregamento, pesagens e deslocamentos internos	Redução de 20,00% relacionados a esperas	(SIMONS; TAYLOR, 2007)

4.1.6. MFV no estado futuro

As alterações dos parâmetros de processo, incluídas no modelo computacional são simuladas e novos valores dos indicadores de desempenho são obtidos. Assim, são comparados os cenários do MFV no estado presente e o MFV no estado futuro.

4.1.7. Simulação e verificação dos resultados do MFV no estado futuro

A tabela 12 apresenta resultados comparativos. Observam-se melhorias nas eficiências de disponibilidade, EFDP e eficiência operacional, EFOP, em todas as etapas do processo. A eficiência operacional líquida, EFOPL, das colhedoras apresentou um aumento de 17,19% nas médias, passando de uma média de 63,91% para 74,90%, devido à redução nos tempos de manobra.

Tabela 12. Resultados comparativos do MFV nos estados presente e futuro.

Indicador	Etapa	Unidade	Resultados do MFV	
			Estado Presente	Estado Futuro
EFDP	Colheita	%	89,32	95,51
	Transporte	%	82,82	91,80
	Transbordo	%	95,63	96,35
EFOP	Colheita	%	74,38	75,26
	Transporte	%	96,69	98,88
	Transbordo	%	98,62	98,82
EFPOL	Colheita	%	63,91	74,90
TC	Frente de colheita	min	476,63	435,10
Tesp	Transbordo	min	28,86	31,02
Tpi	Colheita	min	13,73	4,74
	Transporte	min	24,65	9,73
	Transbordo	min	84,79	44,25
Produção	Colhedora 1	t d ⁻¹	401,44	473,65
	Colhedora 2	t d ⁻¹	406,93	483,73
	Colhedora 3	t d ⁻¹	397,07	479,09
	Colhedora 4	t d ⁻¹	401,76	493,33
	Colhedora 5	t d ⁻¹	389,28	444,48
EFUT	Frente de colheita	%	89,84	87,84
Espera	Carregamento caminhão	min	8,77	4,57
	Transporte	min	19,03	24,14
	Na Indústria	min	23,99	16,59
Intervalo	Entre caminhões	min	46,29	38,87
Lead time	Processo	min	528,43	480,41
EFGLL	Frente de colheita	%	45,91	58,18

Nota: EFDP = Eficiência de disponibilidade; EFOP = Eficiência operacional; EFOPL = Eficiência operacional líquida; TC= Tempo de ciclo; Tesp = Tempos de esperas; Tpi = Tempo de processamento incorreto; Produção = média diária entregue na indústria; EFUT = Eficiência de utilização; Espera = Tempos médios de espera para complementação de uma determinada atividade; Intervalo = Tempo médio entre descarregamento na indústria; Lead time = Tempo médio entre início da colheita e entrega de uma carga equivalente à capacidade de um caminhão na indústria; EFGLL= Eficiência global líquida.

O tempo de ciclo da frente de colheita reduziu da média de 476,63 minutos para 435,10 minutos, 8,71%, ocorreu uma redução dos tempos médios de processamento incorretos das colhedoras em 65,44%, evoluindo de 13,73 minutos para 4,74 minutos. A redução do tempo de processamento incorreto para os caminhões foi de 60,53% e 47,81% para os transbordos.

A eficiência de utilização, EFUT, da frente de colheita diminuiu de 2,22%, apesar das ações para redução dos tempos perdidos. O que se analisa é que houve a melhora nos tempos de ciclo das colhedoras, e isso demanda mais transbordos, aumentando o tempo perdido por colhedora em espera por transbordo da média de 3,09 minutos para 6,43 minutos. Pela mesma razão a espera dos transbordos carregados por transporte passou da média de 19,03 minutos para 24,14 minutos, assim o tempo médio total de esperas do transbordo foi de 28,86 minutos para 31,02 minutos, aumento de 7,49%.

A produção média diária das colhedoras registrou aumento médio de 18,9% e o intervalo entre caminhões passou da média de 46,29 minutos para 38,87 minutos, redução de 16,03%. Como o tempo *pitch* é de 34,78 minutos, tempo entre chegadas de caminhões determinado pelo cliente, verifica-se que o atendimento à demanda ficou mais próximo. Em decorrência o *lead time* do processo foi reduzido de 528,43 minutos para 480,41 minutos, significando 9,09% menos tempo entre o início do processo e a entrega da carga na usina. A eficiência geral líquida da frente de colheita passou de 45,91% para 58,18%, um acréscimo de 26,72%.

Comparando-se o MFV no estado presente e MFV no estado futuro, considerando que o número de colhedoras definidos pela área a ser trabalhada era de 5 máquinas para o estado presente, consegue-se verificar qual seria o número correspondente para um eventual dimensionamento para o cenário do estado futuro. Com os valores da eficiência gerencial ou EFUT e o efeito da redução nos tempos de interrupção e tempos de preparo que resultaram em uma melhora no produto das eficiências de disponibilidade (EFDP), eficiência operacional (EFOP) e eficiência operacional líquida (EFOPL) de 42,46% para 53,84%, chega-se ao resultado do cálculo de número de máquinas, que passa de uma quantidade inicial de cinco máquinas para a possibilidade de se reduzir para quatro máquinas. Resultado que pode ser considerado como um dos benefícios práticos possíveis advindos da implantação das melhorias orientadas pelas análises indicadas pelo método.

4.2. Estudo de caso 2: Colheita mecanizada de cana de açúcar

O estudo desenvolveu-se em frente de colheita mecanizada de cana de açúcar em Usina localizada na região da cidade de Piracicaba, estado de São Paulo.

4.2.1. Mapeamento de processo

No mapa do processo (Figura 21) pode ser observado que nas atividades de cada etapa, existem tempos que não agregam valor, tornando-se, assim, oportunidades de melhoria. Identificam-se pontos de esperas, a princípio, e que existem filas que não aparecem descritas no mapa de processo, pois não são previstas na rotina. Existem situações, durante o mapeamento, em que os transbordos carregados aguardavam pela chegada do caminhão para proceder a transferência da cana colhida, ocorrências em que a colhedora interrompe a colheita aguardando o transbordo. Da mesma forma, as filas na pesagem, sondagem e descarregamento na Usina são situações não planejadas, consideradas como perdas.

4.2.2. Mapeamento da Qualidade

No mapa da qualidade da colheita (Figura 22) detectou-se que os principais problemas são relacionados às paradas inesperadas para manutenção, falta de carregadores para realização das manobras, manobras com grande variação de tempo, falta eventual de informações por parte da indústria para definições de ritmo de colheita e faltas imprevistas de transbordo para acompanhamento da colheita. O sistema informatizado de gestão de colheita fornece os resultados dos indicadores de desempenho da frente de colheita, referentes ao dia anterior, e esses resultados são expostos aos operadores na área de convivência da frente de colheita. O líder da frente é o responsável para garantir que os trabalhos sejam efetuados em conformidade com o que é estabelecido pela administração do processo.

Na etapa de transbordo, o mapa da qualidade (Figura 23) permite identificar que, durante o acompanhamento da colheita, o nível de carregamento no qual se atinge a capacidade do transbordo é identificado visualmente pelo operador, o que pode proporcionar excessos ou sub carregamentos, ambas as ocorrências prejudiciais ao processo. A implantação de um padrão de manobra de cabeceira do transbordo denominada três pontas foi relatada, apesar que durante o acompanhamento não foi observado essa padronização. Os operadores têm uma lista de verificação diária em relação aos seus respectivos equipamentos, tarefa não confirmada na prática. Os trajetos dos transbordos vazios ou carregados não são definidos na frente de colheita.

Figura 21. Mapa do processo frente de colheita mecanizada de cana de açúcar – Estudo de caso 2.

Colher	
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de trabalho é direcionada em função do TCH da área (Definido pelo Líder de frente de colheita) • Não há padrão de manobras • Padrões de regulagens de colhedora: velocidade dos rolos alimentadores em função do TCH. • Check-list de máquina
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Gestão Informatizado que fornece: Tempos de eventos não produtivos; velocidade das colhedoras (individualmente) e informações complementares. • Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> • Quebra de máquinas. • Tempo de manobra com grande variação • Falta de carreador para manobra. • Falta de sistematização das áreas de colheita. • Talhão com linhas que dificultam a colheita. • Corte fora de padrão. • Falta de informação por parte da Indústria afim de se direcionar atividades não produtivas, • Falta de balanceamento produtivo • Falta de Transbordo
Testes e Resultados	

Figura 22. Mapa da qualidade de frente de colheita mecanizada de cana de açúcar na etapa colher – Estudo de caso 2.

	Carregamento simultâneo com colhedora	Levar carga para a área de transferência	Bascular carga no caminhão de transporte	Aguardar chamada na FUT para carregamento com colhedora	Ir ao local onde se encontra a colhedora
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de Manobra recém implantado (3 pontas). Limite visuais de carregamento. Check-list de máquina (terceiros) 	<ul style="list-style-type: none"> Não há padrão para deslocamento cheio, exceto por parâmetros de segurança. Trajetos não definidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há padrão fixo para posicionamento. Busculamento feito de forma que a carga se distribua igualmente. Não há padrão para retorno à marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> Fila. Atendimento à colhedora que tem transbordo com carga pela metade. Local de espera pré-determinado. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há padrão para deslocamento vazio, exceto por parâmetros de segurança. Trajetos não definidos.
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de Gestão Informatizado que fornece: Tempos de eventos não produtivos; etc Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita. Auditorias. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de Gestão Informatizado que fornece: Tempos relacionados com a operação, Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita. Auditorias. 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita. Auditorias. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de Gestão Informatizado que fornece tempos de utilização do sistema de fila única (FUT). 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de trabalho é avaliado pelo Líder da Frente de Colheita. Auditorias.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de Máquina. Manobra longa ou fora de padrão. Falta de Operador treinado. Dificuldade de emparelhamento com colhedora. Carga excessiva. Pouco carregamento. Rotatividade de pessoal 	<ul style="list-style-type: none"> Aclividade muito grande do trajeto. Quebra de máquina. Perda de carga pelo caminho. 	<ul style="list-style-type: none"> Perda de carga. Demora para organização e equalização das cargas no transporte. Falta de Transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Colhedora quebrada com solicitação de transbordo. Sequência quebrada. Falta de comunicação. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de máquina.
Testes e Resultados					

Figura 23. Mapa da qualidade de frente de colheita mecanizada de cana de açúcar na etapa transbordo – Estudo de caso 2.

Os métodos de medição e controle da etapa de transbordo são os relatórios emitidos pelo sistema computacional de gestão, avaliações realizadas pelo líder da frente de colheita, auditorias realizadas pelo pessoal da administração agrícola da empresa e relatórios emitidos pelo sistema informatizado de controle da fila única de transbordo (FUT). Os principais problemas identificados no mapa da qualidade da etapa transbordo foram as paradas para manutenção corretiva não planejadas, ausência de operadores treinados, demora para equalização da carga durante a transferência de carga, falta de comunicação em geral, falta de caminhão para se efetuar a transferência.

Na etapa de transporte, o mapa da qualidade (Figura 24) identificou o fato da ausência de controle sistemático do desempenho dos caminhões e operadores. Essa etapa é executada por caminhões e operadores de uma empresa terceirizada, o que, em conjunto com a ausência de controle sistemático e uma análise crítica do trabalho realizado, possibilita o aparecimento de problemas de comunicação. Para o controle logístico da etapa é utilizado sistema computacional específico, o qual direciona e quantifica os veículos para as frentes de colheita da usina. Durante o acompanhamento do processo estava em andamento a troca de fornecedor deste serviço, o que causou problemas de falta de caminhões na frente de colheita acompanhada.

A padronização dos trabalhos não foi considerada suficiente em todas as atividades do processo. Na etapa de transporte, os problemas mais relevantes são definidos em acessos ruins, sinalização dos trajetos feitos de forma falha, local de transferência em aclives ou declives acentuados, excesso de tempo em espera por carregamento, filas demoradas na indústria, falta de gestão sistemática para esta etapa do processo.

	Receber Carga do Transbordo	Aguardar outro carregamento	Transportar carga para Usina	Pesar carga	Sondagem da carga	Descarregamento	Pesagem vazio	Deslocamento Vazio
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de Posicionamento Sinalização padrão. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência 24Km/h Trajetos definidos e sinalizados. O uso de celular é padrão para comunicação de problemas no trajeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Dados e documentação da carga transferidos eletronicamente Sinais para aproximação e saída. 	<ul style="list-style-type: none"> Posição padrão. Liberação. 	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento padrão Liberação para movimentação Atividades definidas para o Motorista. 	<ul style="list-style-type: none"> Sinais para aproximação e saída. Definição de destino. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade de referência 34,3Km/h Trajetos definidos e sinalizados. O uso de celular é padrão para comunicação de problemas no trajeto.
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> Auditorias 	Não há	<ul style="list-style-type: none"> Não há controle sistemático. Não há acompanhamento de indicadores de desempenho. Utilização do software "SOLINFTEC" para monitoramento. 	Não há	Não há	Não há	Não há	<ul style="list-style-type: none"> Não há controle sistemático. Não há acompanhamento de indicadores de desempenho. Utilização do software "SOLINFTEC" para monitoramento.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> Acesso ruim. Sem sinalização. Local em aclive ou declive. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividades do motorista não definidas durante espera. Excesso de tempo em espera. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra do veículo. Trajetos não definidos ou mal sinalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> Balança sem funcionamento. 		<ul style="list-style-type: none"> Equipamento sem funcionamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Balança sem funcionamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Quebra do veículo. Trajetos não definidos ou mal sinalizados.
Testes e Resultados								

Figura 24. Mapa da qualidade de frente de colheita mecanizada de cana de açúcar na etapa transporte – Estudo de caso 2.

4.2.3. Tempos operacionais

A tomada dos tempos operacionais foi iniciada pelo acompanhamento da etapa de colheita, com 122 amostras dos tempos dos “tiros” das colhedoras, 123 amostras dos tempos de manobra das colhedoras, 109 amostras dos tempos de manobra dos transbordos. As perdas de colheita foram registradas por meio de 25 amostras de dados obtidas por meio de relatório do sistema informatizado de gestão de colheita da Usina.

Um total de 68 amostras foi obtido para os tempos de transferência de carga dos transbordos para os caminhões e de 26 amostras, obtidas por meio de leitura em receptor GPS, para os tempos de deslocamento vazio e carregados, as velocidades e distâncias percorridas pelos transbordos. Para os tempos de deslocamentos e velocidades dos caminhões, 28 amostras de deslocamento carregado e 26 amostras de deslocamento vazio foram obtidas por leitura em receptor GPS. Os tempos de deslocamento no pátio da indústria, pesagens, sondagens e descarregamento no hilo foram obtidos em 37 amostras cronometradas.

Na definição da função densidade de probabilidade para a representação do trabalho da colhedora, não se obteve com os dados coletados uma função com *p-value* maior que 0,10. A distribuição empírica, discreta ou contínua foi considerada para representação desta operação (Figura 25).

Figura 25. Representação de histograma dos dados de colheita realizada em módulo de análise em sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos – Estudo de caso 2.

Adotou-se para as distâncias relacionadas aos deslocamentos efetuados pelos transbordos, um valor médio obtido de medições feitas por meio do receptor de sinais GPS. Para caminhões o valor médio das distâncias entre as fazendas e Usina foi considerado conforme dados fornecidos. Os resultados obtidos, a partir dos dados coletados com as respectivas funções densidade de probabilidade ajustadas, são apresentados na tabela 13. Com referência às interrupções, as funções densidade de probabilidade são apresentadas no anexo E para a colhedora 1, anexo F para a colhedora 2, anexo G para a colhedora 3, anexo H para a etapa de transbordo e anexo I para a etapa

Tabela 13. Funções densidade de probabilidade referentes aos parâmetros do processo de colheita mecanizada.

Atividade	Máquina/ Veículo	Distribuição ajustada	Unidade
Colheita	Colhedora	CONT (0.000, 0.811, 0.139, 1.637, 0.254, 2.464, 0.590, 3.290, 0.803, 4.116, 0.910, 4.942, 0.934, 5.769, 0.975, 6.595, 0.984, 7.421, 0.992, 8.247, 1.000, 9.074, 1.000, 9.900)	min t ⁻¹
Manobra	Colhedora	LOGN(1.12, 0.55)	min
Manobra	Transbordo	0.08 + LOGN(1.42, 0.643)	min
Perdas de colheita	Colhedora	NORM(1.93, 0.787)	%
Deslocamento vazio	Transbordo	8 + 251 * BETA(1.06, 1.44)	m min ⁻¹
Deslocamento carregado	Transbordo	TRIA(51, 61.2, 153)	m min ⁻¹
Distância média percorrida	Transbordo	800	m
Deslocamento vazio	Caminhão	132 + 396 * BETA(0.365, 0.381)	m min ⁻¹
Deslocamento carregado	Caminhão	TRIA(195, 324, 452)	m min ⁻¹
Distância média percorrida	Caminhão	11200	m
Transferência de carga	Transbordo	0.28 + LOGN(2.69, 1.85)	min
Pesagem	Caminhão	1 + GAMM(0.751, 2.48)	min
Deslocamento balança - sonda	Caminhão	NORM(1.81, 0.317)	min
Deslocamento sonda-descarga	Caminhão	1 + ERLA(0.152, 2)	min
Deslocamento balança - descarga	Caminhão	TRIA(2.33, 2.96, 3.75)	min
Deslocamento descarga - balança	Caminhão	2.16 + 1.52 * BETA(1.15, 1.08)	min
Sondagem	Caminhão	1.09 + 9.91 * BETA(0.796, 1.48)	min
Descarregamento	Caminhão	TRIA(5.43, 7.56, 9.69)	min

Nota: CONT= distribuição empírica contínua ou discreta, LOGN=distribuição lognormal, NORM=distribuição normal, BETA=distribuição beta, TRIA=distribuição triangular, GAMM= distribuição gamma, ERLA=distribuição de Erlang.

de transporte.

4.2.4. Desenvolvimento do modelo computacional para simulação

Um modelo representativo da frente de colheita foi desenvolvido dentro do ambiente do sistema computacional de simulação de eventos discretos. Com a simulação inicial, correspondente à 40 dias e única replicação, definiu-se o tempo transiente de 4.000 minutos, a partir da observação do comportamento da variável de controle, tempo de carregamento dos caminhões na área de transferência. Processando-se a simulação no tempo de 120 dias e 10 replicações, com o tempo transiente de 4.000 minutos, obtém-se para a variável de controle a média de 65,6 minutos e semi-intervalo de confiança de 0,415 minutos, correspondendo a 0,63% da média. A figura 26, produzida pelo módulo de análise do sistema computacional para modelagem e simulação de eventos discretos, contém detalhes do resultado da análise realizada, com valores da média (*average*), desvio padrão (*standard deviation*), semi-intervalo (*half-width*), valor máximo (*maximum value*) e número de observações (*number of obs.*) para a variável de controle, e com essa base, o tempo de simulação planejado atende ao critério de confirmação.

Figura 26. Intervalo de confiança para tempo de carregamento dos caminhões.

Para a validação do modelo, por meio do teste “t” de *Student*, a partir da verificação de que as variâncias das amostras podem ser consideradas diferentes, ao nível de significância de 5%, não se pode afirmar que haja diferença entre as amostras relativas a 120 dias de produção e produção gerada na simulação, estatística “t” igual a 1,21 menor que “t” crítico 1,9699 (Tabela 14). Assim, considera-se o modelo validado.

Tabela 14. Validação do modelo de simulação: média produção diária. Teste-t com duas amostras presumindo variâncias equivalentes

Variável	Comparação	
	Simulada	Real
Média ($t\ d^{-1}$)	1388,27	1464,19
Variância ($t^2\ d^{-2}$)	66829,91	400107,72
Observações	120	120
Hipótese da diferença de média	0	
gl	238	
Stat t	-1,2172	
$P(T \leq t)$ uni-caudal	0,1124	
t crítico uni-caudal	1,6513	
$P(T \leq t)$ bi-caudal	0,2248	
t crítico bi-caudal	1,9700	

4.2.5. Mapa do Fluxo do valor (MFV) no estado presente

Com o modelo validado e o tempo de simulação definido, executou-se a simulação. O desenho do mapa do fluxo do valor definido para o processo foi incluído no modelo de simulação com a finalidade de que os indicadores de desempenho definidos fossem automaticamente atualizados, à medida que o processamento da simulação ocorresse. Assim, obteve-se, ao final de uma das 10 replicações, o mapeamento do fluxo do valor numericamente completado com os respectivos indicadores de desempenho definidos (Figura 27).

Figura 27. MFV no estado presente – Indicadores após simulação em uma replicação

Para se completar o MFV do processo no estado presente uma classificação dos tempos e ocorrências do processo foi realizada seguindo propostas de Gonçalves, Lima, *et al.* (1993) e classificação da mentalidade enxuta por tipo de perda de acordo com Ohno (1997). Esta classificação se apresenta na tabela 15 para a colheita, tabela 16 para o transbordo e tabela 17 para a etapa de transporte.

Tabela 15. Classificação dos tempos das atividades e ocorrências na etapa de colheita.

Atividade	Classificação	
	Padrão tempo	Mentalidade enxuta
Manobras	Acessório	Processamento incorreto
Abastecimento e lubrificação	Auxiliar	Esperas
Troca de faquinha	Auxiliar	Esperas
Limpeza-lubrificação	Auxiliar	Esperas
Aguardando mecânico	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção elétrica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção por oportunidade	Manutenção	Esperas
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Troca de motorista-operador	Perdido	Processamento incorreto
Outras esperas	Perdido	Esperas
Aguardando transbordo	Perdido	Esperas

Tabela 16. Classificação dos tempos das atividades e ocorrências na etapa de transbordo.

Atividade	Classificação	
	Padrão tempo	Mentalidade enxuta
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Espera na fila	Acessório	Processamento incorreto
Abastecimento e lubrificação	Auxiliares	Esperas
Limpeza lavagem	Auxiliares	Esperas
Manutenção borracheiro	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção no transbordo	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Encalhado	Perdido	Processamento incorreto
Falta de motorista operador	Perdido	Processamento incorreto
Motivo indeterminado	Perdido	Processamento incorreto
Refeição café	Perdido	Processamento incorreto

Tabela 17. Classificação dos tempos das atividades e ocorrências na etapa de transporte.

Atividade	Classificação	
	Padrão tempo	Mentalidade enxuta
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Operacional	Auxiliar	Processamento incorreto
Manutenção elétrica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Borracharia	Manutenção	Processamento incorreto
Oficina mecânica	Manutenção	Esperas
Manutenção preventiva	Manutenção	Esperas
Fila na Usina	Perdido	Esperas
Espera pelo carregamento	Perdido	Esperas
Falta de motorista operador	Perdido	Processamento incorreto
Encalhado	Perdido	Processamento incorreto

Somente a atividade de corte da cana foi considerado que agrega valor na etapa de colheita, e para a etapa de transbordo, o deslocamento carregado e a transferência da carga para os caminhões. No transporte, as atividades de deslocamento carregado e descarregamento na indústria foram consideradas atividades que agregam valor.

Entre as etapas de colheita e transferência foi identificado que existe estoque intermediário quando não há caminhão na área de transferência e o transbordo tem que aguardar para fazer o descarregamento da cana colhida. Este estoque intermediário foi representado e denominado no MFV por “tempo de espera por transporte”. Um segundo estoque intermediário foi considerado, o qual ocorre que dá-se no tempo em que o caminhão aguarda a transferência de carga até que se complete sua capacidade, denominado no MFV como “tempo de espera do enchimento do caminhão”. O tempo médio nas filas que ocorrem na indústria é indicador de estoque intermediário nesta área, sendo denominado no MFV de “tempo de espera na indústria”.

Os resultados dos indicadores utilizados para avaliação do desempenho do processo, aplicados ao mapeamento do fluxo do valor (MFV) no estado presente, foram obtidos após a simulação. Pode-se observar os valores médios e respectivos semi-intervalos para o nível de confiança de 95% na tabela 18.

Tabela 18. Indicadores de processo no MFV no estado presente.

Etapa	Resultados				Etapa	Resultados			
	Indicador	Unidade	Valor	Semi-intervalo		Indicador	Unidade	Valor	Semi-intervalo
Colheita	TC	min	139,68	0,46	Transbordo	TC	min	301,85	5,10
	TVA	min	105,12	0,10		TVA	min	200,38	1,92
	Tesp	min	21,21	2,11		Tesp	min	10,82	0,53
	Tpi	min	48,72	0,85		Tpi	min	105,11	4,33
	EFOPL	%	75,25	0,23		EFOPL	%	66,41	1,13
	EFOP	%	95,01	0,30		EFOP	%	99,43	0,04
	EFAT	%	87,66	1,50		EFAP	%	100,00	0,00
	EFUT	%	95,56	1,01		EFAT	%	88,27	1,53
	EFDP	%	93,84	0,41		EFUT	%	91,93	0,27
	EFAP	%	100,00	0,00		EFDP	%	96,00	0,30
	EFGL	%	74,65	0,56		EFGL	%	87,75	0,39
	EFGLL	%	56,18	0,56		EFGLL	%	58,27	0,91
Transporte	TC	min	85,21	1,04	Frente de colheita	EFOPL	%	70,58	0,64
	TVA	min	66,23	1,18		EFOP	%	97,85	0,10
	Tesp	min	85,90	1,47		EFAT	%	87,28	1,59
	Tpi	min	15,18	0,49		EFUT	%	85,42	0,35
	EFOPL	%	77,72	0,59		EFDP	%	92,52	0,24
	EFOP	%	97,15	0,23		EFAP	%	100,00	0,00
	EFAT	%	83,44	1,95		EFGL	%	67,49	0,93
	EFUT	%	60,99	0,71		EFGLL	%	47,63	0,54
	EFDP	%	84,63	0,49		Lead time	min	609,54	5,00
	EFAP	%	100,00	0,00		TVA do Processo	min	371,72	2,40
	EFGL	%	41,83	0,72					
	EFGLL	%	32,50	0,58					

Nota: TC=Tempo de ciclo; TVA=Tempo de valor agregado; Tesp=Tempo de espera; Tpi=Tempo de processamento incorreto; EFOPL=Eficiência operacional líquida; EFOP=Eficiência operacional; EFAT=Eficiência de aptidão; EFUT=Eficiência de utilização; EFDP=Eficiência de disponibilidade; EFAP=Eficiência de aproveitamento; EFGL=Eficiência global; EFGLL=Eficiência global líquida.

4.2.6. Análise de acordo com mentalidade enxuta

A análise foi feita a partir da configuração do MFV no estado presente e do roteiro de 8 pontos propostos por Rother e Shook (2007), apresentados na tabela 4 , página 53.

Para o primeiro ponto, de acordo com a demanda informada para a frente de colheita analisada, de 1620 t dia⁻¹, o valor do tempo *takt* é de 0,89 min t⁻¹, expressando o tempo em que teoricamente 1 tonelada de cana deve chegar à Usina. O *pitch* para uma carga média dos caminhões de 64 toneladas é de 56,89 minutos, expressando o intervalo que deve haver a chegada dos caminhões à Usina para atendimento à demanda. Porém o resultado da simulação no estado presente apresentou o valor médio de 66,82 minutos, ou seja, não se tem o atendimento à demanda definida.

O segundo ponto questiona se a produção deve ir diretamente ao cliente ou a uma armazenagem intermediária. Observa-se que, pelas características do processo, a armazenagem da cana colhida mecanicamente pode afetar as características físico-químicas essenciais ao processo de produção de açúcar ou etanol, portanto deve ser evitada.

O terceiro ponto, refere-se ao local onde o fluxo contínuo de produção poderá ser utilizado, pois a sua existência é importante para a eliminação das perdas e desperdícios em um processo. Observou-se que existiam quebras neste fluxo quando não havia caminhão na área de transferência e os transbordos não conseguiam descarregar as cargas, permanecendo em média 9,08 minutos aguardando pela chegada dos caminhões para iniciar a transferência. Havia fluxo interrompido, da mesma forma, quando o caminhão permanecia na área de transferência aguardando, em média, 56,20 minutos pelo carregamento até que se completasse sua capacidade, da mesma forma, se caracteriza uma quebra de fluxo, a espera média de 17,52 minutos nas filas de caminhões na Usina.

O quarto ponto questiona a necessidade da criação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo puxada. Pelas razões expostas no segundo ponto, as condições específicas da cana de açúcar, principalmente se tratando de colheita mecanizada, não permitem armazenagem intermediárias por períodos longos

Para o quinto ponto, poderia ser atribuído um posto de controle na balança de produtos na entrada da Usina. Seria o local da cadeia de produção a ser utilizado para a programação de produção, utilizando-se do tempo *pitch* como referência..

O sexto ponto, avalia o nivelamento da produção na etapa que ditará o ritmo de processo. Para isso, deve-se verificar o balanceamento operacional das etapas do processo em relação ao *pitch*, intervalo de tempo em que devem haver as entregas de cargas equivalentes à capacidade média dos caminhões, 64 t. Ao se efetuar a divisão dos tempos de ciclo de cada etapa pelo número de equipamentos disponíveis à cada etapa, obtém-se os tempos de ciclo individuais. Estes tempos de ciclos individuais devem ser inferiores ao *pitch*, para que a demanda seja atendida. Observa-se na figura 28, onde TC é o tempo de ciclo, que as etapas de colheita e transbordo são críticas, porque os respectivos tempos de ciclos são próximos ao *pitch* e a etapa de transporte tem ociosidade, teoricamente. Os tempos de ciclo não consideram as interrupções causadas pelas falhas, esperas e desperdícios de tempo em cada etapa, assim a ociosidade aparente pode não ocorrer realmente no transporte e a criticidade das demais etapas pode ser maior.

Figura 28. Balanceamento do processo – Estudo de caso 2.

A situação ideal é a de que houvesse o equilíbrio entre as etapas, que pode ser alcançado com o aumento do número de colhedoras para 5 e o número de transbordos para 10, resultando em tempos de ciclo de 28 minutos para as colhedoras, 30 minutos para o transbordo, mantendo-se o tempo de ciclo do transporte. Mas, para a mentalidade enxuta a obtenção do equilíbrio não se faz com o aumento do número de equipamentos. Por meio do resultado obtido pelo quociente entre tempo de ciclo da etapa e o *pitch*, tem-se a quantidade teórica de número de equipamentos ou máquinas necessários. No presente estudo chega-se ao número de 3 colhedoras, 6 transbordos e 2 caminhões, diferindo-se da condição real apenas quanto ao número de caminhões. Todavia, a redução do número de

equipamentos somente é possível com a redução das perdas, interrupções e desperdícios, não incluídos no cálculo dos tempos de ciclo

O sétimo ponto é a quantidade de produto que será consistentemente liberado pela operação que ditará o ritmo do processo. O ritmo seria o equivalente à carga média dos caminhões, 64 toneladas, a cada intervalo de tempo equivalente ao *pitch*, ritmo necessário para atender a demanda.

O oitavo ponto, refere-se às melhorias para tornar o processo enxuto e elas, melhorias, foram enfatizadas sobre as atividades que não agregam valor, identificadas previamente na modelagem do processo.

Apesar de que a manobra de cabeceira seja considerada uma função obrigatória e que se tenha interesse somente em medições instantâneas de campo (GONÇALVES, LIMA, *et al.*, 1993), no caso representa uma parcela grande do tempo operacional medido pela EFOPL de 75,25%. Ainda na etapa de colheita, tem-se as perdas classificadas como “esperas” em “abastecimento e lubrificação”, “troca de faquinha” e “limpeza-lubrificação”, representadas como tempos auxiliares e medidos pela EFOP de 95,01%. Tais tarefas podem ser melhoradas e terem seus tempos reduzidos.

Para a colheita, a totalização dos tempos de perdas do tipo “esperas” foi de 21, 21 minutos e as perdas do tipo “processamento incorreto” foram de 48,72 minutos. Como o tempo de valor agregado, TVA, encontrado foi de 105,12 minutos, verificam-se que as perdas representam 66,50 % do tempo em que se agrega valor na etapa.

O tempo médio de espera de 9,08 minutos dos transbordo, por caminhão disponível para descarregamento, deve ser trabalhado para que seja reduzido. Nos transbordos, o tempo que representa a maior perda se refere ao intervalo em que permanece na fila única de transbordos (FUT) aguardando pelo chamado das colhedoras. O tempo de fila foi classificado como parte dos tempos acessórios e avaliado pelo indicador eficiência operacional líquida (EFOPL). O tempo de fila tem uma participação de 67,00% da EFOPL, valor de 66,41% e de 65,10% das perdas por “processamento incorreto”, com um tempo médio na fila de 11,40 minutos por transbordo. O estoque intermediário na operação de transferência da carga colhida para os caminhões é representada pelo tempo médio 56,20 minutos para que se complete a carga do caminhão. Neste tempo somente 14,10 minutos se está realizando realmente a transferência de carga.

Os tempos de manutenção relacionados aos caminhões, medidos pela eficiência de disponibilidade, EFDP, de 84,63%, tem como principal responsável o tempo em que os caminhões vão à oficina para realização de reparos, correspondendo a 77,60% do indicador. Deve-se implantar na frota, que é terceirizada, uma sistemática de manutenção para melhora do indicador.

Analisando a frente de colheita como um todo, verifica-se que as atividades que agregam valor resultam em um tempo de 371,70 minutos, enquanto o *lead time* do processo é de 609,54 minutos. Trata-se de uma diferença que, somando-se aos tempos das perdas que não são contabilizadas no *lead time*, devem ser consideradas e reduzidas para se obter um processo dentro dos conceitos da mentalidade enxuta, com eliminação ou redução das atividades que não agregam valor.

4.2.7. Proposição de melhorias: MFV no estado futuro

Após a realização das análises no MFV no estado presente, as ações originadas nas oportunidades e perdas identificadas que podem melhorar o desempenho de processo foram implantadas. O MFV no estado futuro apresenta, então, o cenário com as alterações e indicadores de desempenho retratando o resultado dessas modificações. As proposições de melhoria são apresentadas na tabela 19, as quais serão utilizadas para simulação do estado futuro.

Na etapa de colheita, as ações propostas relacionadas com as manobras não têm caráter imediato, pois, em alguns casos, devem ser implantadas em uma eventual reforma do canavial. Uma das propostas é a sistematização dos talhões (LIONÇO; BRESSAN; SILVA, 2010), quando se definem os pontos de manobra com respectivas dimensões, corredores, estradas e a diminuição do número de sulcos (BENEDINI; CONDE, 2008). O uso de algoritmos específicos pode facilitar a otimização do ângulo das linhas de cultivo (SPEKKEN; DE BRUIN, 2013). A estimativa é de uma redução de 20,00% no tempo de manobra com as melhorias.

A padronização das atividades é uma das maneiras de se reduzir ou eliminar tanto as perdas consideradas “esperas” como aquelas consideradas “processamento incorreto”. Por meio da padronização das atividades se proporciona a execução das atividades da melhor maneira, mais rápida, segura e que facilita o treinamento de pessoal novo. Entende-se que a padronização é o melhor meio da preservação do conhecimento e para a melhoria contínua (IMAI, 1992). Assim, as tarefas de “abastecimento e lubrificação”, “limpeza-lubrificação” e “troca de motorista-operador” das colhedoras podem ser melhor realizadas através de uma padronização.

Nos transbordos, as tarefas que devem ser padronizadas são “abastecimento e lubrificação”, “limpeza-lavagem”, os tempos de “refeição-café”, a condução adequada dos tratores para se evitar a ocorrência “encalhado” e sensibilização de pessoal para se evitar a ocorrência “motivo indeterminado”. Para a etapa de transporte, deve-se padronizar a tarefa denominada “operacional”, as filas na indústria, a “troca de turno” e a condução adequada para se evitar a ocorrência “encalhado”. Em estudos relacionados com a implantação da mentalidade enxuta na agroindústria inglesa obteve-se um aumento médio de eficiência com a implantação de padrões de trabalho de 11,50% (ZOKAEI; SIMONS, 2006) e no mapeamento do fluxo de valor em órgão público se obteve 34,2% de redução nos tempos das atividades que não agregam valor por meio da padronização das tarefas (LIMA; BISIO; ALVES, 2010). Desta forma, baseado nestes estudos, espera-se uma redução de 10,00% de redução nas ocorrências “encalhado”, “refeição-café” e “motivo” indeterminado” e de 34,20% de redução de tempo na realização das tarefas “operacional”, “abastecimento e lubrificação”, “limpeza-lubrificação”, “troca de motorista-operador”, “troca de turno”, “troca de faquinha”, “limpeza-lavagem”.

A tarefa “troca de faquinha” pode ter redução do tempo de execução de 25,00%, por meio de padronização e treinamento dos operadores, conforme resultado da redução média do tempo de troca de ferramentas no estudo de implementação do modelo denominado manufatura total produtiva (SHETTY; ALI; CHAPDELAINE, 2009). O material da faquinha pode ser substituído por material revestido por material cerâmico. Em estudo aplicado para redução de desgaste de ferramentas de corte obteve-se um aumento de vida útil em 65,90% (DOBRZAŃSKI et al., 2006), pressupondo-se que seja possível esta ação para as faquinhas, e no caso, o intervalo entre substituições poderia ser aumentado da mesma forma.

A padronização realizada a partir do mapeamento de processo, com a participação do pessoal envolvido nas atividades, também pode oferecer uma redução dos tempos em que os caminhões carregados permanecem em

fila na indústria. Estima-se que poderia haver uma redução de 16,00%, conforme trabalho de Lima, Bisio e Alves (2010).

Tabela 19. Sumário das proposições de melhoria do processo – Estudo de caso 2.

Problema	Ação	Resultado esperado
Tempo longo de manobras	Sistematização de talhões Utilização de algoritmos para melhor ângulo de cultivo	Redução de 20% no tempo médio de manobra
Tempo de execução das atividades das colhedoras: abastecimento e lubrificação; limpeza-lubrificação; troca de motorista-operador	Padronização das atividades	Redução de 34,2% no tempo de execução das tarefas
Tempo de execução das atividades dos transbordos: abastecimento e lubrificação; limpeza-lavagem; refeição-café. Treinamento em condução adequada para evitar a ocorrência da situação "encalhado".	Padronização das atividades	Redução de 34,2% no tempo de execução das tarefas
Tempo de execução das atividades dos transbordos: refeição-café. Ocorrência para os transbordos de “motivo indeterminado”	Padronização das atividades	Redução de 10% no tempo de execução das tarefas e ocorrências.
Tempo de execução das atividades dos caminhões: operacional; troca de turno. Treinamento em condução adequada para evitar a ocorrência da situação "encalhado" para os caminhões.	Padronização das atividades	Redução de 34,2% no tempo das ocorrências.
Colhedoras com tempo de execução da atividade "troca de faquinha" muito longos com frequência de intervenção alta.	Padronização das atividades Revestimento com material cerâmico.	Redução de 25% no tempo de execução da tarefa. Aumento do intervalo entre trocas em 65,9%
Tempo de esperas dos caminhões carregados em filas na indústria muito longo.	Padronização de atividades com auxílio do mapeamento do processo	Redução do tempo em fila na pesagem carregado, sondagem e descarregamento em 16%
Interrupções para manutenção muito frequentes que demandam muito tempo nas colhedoras, transbordos e caminhões.	Implantação da manutenção preventiva e MPT para colhedoras, transbordo e caminhões	Intervalo de manutenções preventivas a cada 30 dias, intervenções de 6hs em média. Aumento do intervalo entre falhas em 9%. Redução dos tempos de intervenção para manutenção em 20%.
Perdas por falta motorista-operador nos transbordos e caminhões	Implantação de programa para redução de absenteísmo.	Redução dos tempos da ocorrência de falta de motorista-operador em 50%.

Observou-se que nas etapas do processo não há registros de manutenção preventiva e a eficiência de disponibilidade EFDP resultou em 93,80% para as colhedoras, 96,00% para transbordos e 84,60% para os caminhões. Se propõe, então, a implantação da manutenção preventiva planejada e a manutenção produtiva total, MPT. Estudos de implantações no segmento metalúrgico, apresentam um aumento de disponibilidade de máquinas de 9% (SINGH et al., 2013) e ganho na eficiência global de 20% encontrado em avaliação da implantação do MPT nas maiores indústrias dos Estados Unidos (SHETTY; ALI; CHAPDELAINE, 2009). A partir dos resultados desses estudos tem-se a perspectiva de um aumento do intervalo entre falhas em 9,00% e redução dos tempos de ocorrências em 20,00%. Um intervalo entre intervenções de manutenção preventiva com moda 30 dias e duração de moda 4 horas foi considerado, sendo, em ambos casos, aplicada a função distribuição densidade de probabilidade triangular com valores máximos e mínimos de mais ou menos 20,00% da moda.

O problema relacionado com o absenteísmo indicado pelos tempos com “falta de motorista-operador” pode ser encaminhado por intermédio de ações voltadas para a gestão de pessoal. Deve-se realizar um levantamento dos motivos das ausências, buscar ferramentas que integrem de forma eficaz o trabalhador à missão da organização. Mesmo que as operações de transbordo e transporte com os caminhões sejam terceirizadas, deve-se fazer com esses operadores se sintam indivíduos incorporados à empresa contratante. A atividade de psicologia organizacional pode contribuir para o desenvolvimento de um trabalho neste sentido, atuando nos temas relacionados à compensação justa ao trabalho, condições de trabalho, oportunidades de desenvolvimento das capacitações, crescimento dentro da empresa, integração social, espaço de trabalho dentro da vida como um todo e relevância social da vida no trabalho (CALHEIROS; RODRIGUES, 2011). Com um trabalho direcionado dessa forma, espera-se uma redução média de perdas por este motivo em 50,00%.

4.2.8. Simulação e análise do MFV no estado futuro

A simulação do MFV no estado futuro foi realizada no modelo em sistema computacional já validado anteriormente e as propostas de melhoria foram incorporadas ao modelo e a simulação realizada novamente por 120 dias e 10 replicações.

O resultado da simulação é apresentado por meio da tabela 20. Para que a análise ocorresse objetivamente, o resultado dos indicadores de desempenho do estado futuro é colocado ao lado do resultado do estado presente.

A simulação do cenário com as melhorias implementadas apresentou uma produção diária das colhedoras superior em média de 9,00%, o que pode significar melhor atendimento à demanda da indústria. Verifica-se que o intervalo médio entre caminhões no descarregamento da colheita reduziu de 66,83 minutos para 61,30 minutos, redução de 8,27%, tempo mais próximo do *pitch* de 56,90 minutos. Esse valor de redução do *pitch* seria refletido na redução do tempo de colheita, ao se considerar, por exemplo, o total de cana colhida em 120 dias, essa produção poderia ser atingida em 110 dias, pois um *pitch* menor significa menos tempo para a entrega de uma mesma quantidade de cana.

O uso mais eficaz dos recursos foi revelado pelos indicadores de eficiência. Para a eficiência de disponibilidade (EFDP), que mensura o quanto os tempos de manutenção reduzem o tempo disponível de cada uma das etapas do processo, houve uma redução dos tempos de manutenção de 31,64% na colheita, 17,79% no transporte e sem alterações nos transbordos, com isso ocorreu uma redução de 1,60% na EFDP. Embora tenha havido, para as colhedoras, transbordos e caminhões, um total 9 757 horas de manutenção preventiva no estado

futuro e nenhum registro dessa atividade no estado presente, o indicador foi melhorado, pois a redução das

Tabela 20. Resultados dos indicadores de desempenho do MFV no estado presente e futuro

Indicador	Unidade	Resultados do MVF			
		Estado Presente		Estado Futuro	
		Média	Semi-intervalo	Média	Semi-intervalo
EFDP Caminhão	%	84,63	0,49	86,77	0,62
EFDP Colhedora	%	93,84	0,41	95,82	0,34
EFDP Frente de colheita	%	92,52	0,24	93,61	0,21
EFDP Transbordo	%	96,00	0,30	96,04	0,21
EFGLL Caminhão	%	32,50	0,58	34,75	0,78
EFGLL Colhedora	%	56,18	0,56	60,88	0,87
EFGLL Frente de colheita	%	47,63	0,54	51,44	0,72
EFGLL Transbordo	%	58,27	0,91	63,18	0,69
EFOP Caminhão	%	97,15	0,23	98,32	0,17
EFOP Colhedora	%	95,01	0,30	97,32	0,11
EFOP Frente de colheita	%	97,85	0,10	98,76	0,03
EFOP Transbordo	%	99,43	0,04	99,63	0,02
EFOPL Caminhão	%	77,72	0,59	73,57	0,49
EFOPL Colhedora	%	75,25	0,23	79,12	0,24
EFOPL Frente de colheita	%	70,58	0,64	73,36	0,41
EFOPL Transbordo	%	66,41	1,13	70,48	0,70
EFUT Caminhão	%	60,99	0,71	66,58	0,49
EFUT Colhedora	%	95,56	1,01	94,94	1,09
EFUT Frente de colheita	%	85,42	0,35	87,58	0,40
EFUT Transbordo	%	91,93	0,27	93,69	0,35
Intervalo entre caminhões	min	66,83	0,90	61,30	0,92
Lead time do Processo	min	609,54	5,00	556,41	1,87
Produção colhedora 1	t d ⁻¹	480,69	11,93	520,85	10,51
Produção colhedora 2	t d ⁻¹	440,53	13,60	489,97	14,27
Produção colhedora 3	t d ⁻¹	458,29	10,35	493,23	12,86
Tesp Caminhão	min	85,90	1,47	66,55	1,88
Tesp Colhedora	min	21,21	2,11	17,18	1,47
Tesp Transbordo	min	10,82	0,53	10,73	0,61
Tpi Caminhão	min	15,18	0,49	10,24	0,26
Tpi Colhedora	min	48,72	0,85	36,59	1,06
Tpi Transbordo	min	105,11	4,33	73,85	1,86
TVA do processo	min	371,72	2,40	359,05	2,29
TVA Caminhão	min	66,23	1,18	61,97	0,90
TVA Colhedora	min	105,12	0,10	105,23	0,08
TVA Transbordo	min	200,38	1,92	191,86	1,47

Nota: EFDP=Eficiência de disponibilidade; EFGLL=Eficiência global líquida; EFOP=Eficiência operacional; EFOPL=Eficiência operacional líquida; EFUT=Eficiência de utilização; Tesp=Tempo de espera; Tpi=Tempo de processamento incorreto; TVA=Tempo de valor agregado.

manutenções corretivas foi maior do que o incremento das interrupções para manutenção preventiva. O que revela o impacto de um programa de manutenção preventiva e MPT em um processo.

A eficiência EFOP ampliada em 1,20% no estado futuro, caracteriza a redução de 37,13% nos tempos auxiliares dos caminhões, 45,53% na colheita e nenhuma alteração significativa para os transbordos. As ações de

desenvolvimento, embasadas principalmente na padronização dos trabalhos, podem de fato fornecer condições para a obtenção destes resultados.

As manobras de cabeceira realizada pelas colhedoras, os deslocamentos vazios dos transbordos e caminhões e a espera na fila única de transbordos (FUT), classificados como tempos acessórios e avaliados pela eficiência operacional líquida (EFOPL), atingiram uma redução de 5,13% na colheita, 6,13% nos transbordos e aumento de 5,34% no transporte, devido à, principalmente, redução de 12,42% no tempo de manobra das colhedoras e redução do tempo dos transbordos na FUT em 22,11%. A melhoria que não ocorreu no transporte é explicada pelo fato de que os caminhões aumentaram o tempo de deslocamento em vazio em 27,82% por aumento do fluxo de colheita. Em que pese o resultado da etapa de transporte, a frente de colheita, como um todo, alcançou uma melhora de 3,93% na EFOPL, de 70,57% no estado presente para 73,36% no estado futuro.

Os tempos perdidos na etapa de colheita não apresentaram evolução, apesar das ações sobre a atividade de “troca de motorista-operador” e o tempo de espera por transbordo não se alterou significativamente. Assim, o indicador EFUT não se alterou para as colhedoras, 95,56% no estado presente e 94,94% no estado futuro. Entretanto, a etapa de transporte ampliou essa eficiência em 9,21%, com a redução do tempo de permanência em filas na indústria em 59,50% e de 4,92% no tempo de retenção na área de transferência sem o efetivo carregamento por parte do transbordo. Na etapa de transbordo a EFUT foi melhorada em 1,92% devido a redução de 16,08% nos tempos perdidos. O resultado para a frente de colheita progrediu em 2,50%.

As perdas do tipo “esperas” foram reduzidas na colheita em 18,97%, variando de 21,21 minutos no estado presente para 17,18 minutos no estado futuro, mesmo que não tenha sido apresentada alteração na espera por transbordo vazio, indicativo de que ainda existem oportunidades de melhoria nas atividades na área de transferência. Notadamente, o tempo em que o transbordo aguarda carregado pela chegada de caminhão vazio, em que houve uma redução de 9,08 minutos para 7,99 minutos, deve ser analisado para que se encontre ações para eliminá-lo. Na etapa de transbordo, as “esperas” não se alteraram pela introdução da atividade de manutenção preventiva, que se equivaliu às reduções dos tempos dos demais motivos de perda. Na etapa de transporte as “esperas” se reduziram em 22,50%.

Para as perdas do tipo “processamento incorreto”, se verificou na etapa de colheita uma redução de 28,90%, ganhos obtidos na redução dos tempos de manobra, menores interrupções para manutenção e “troca de motorista-operador”. Nos transbordos, os ganhos foram de 29,70%, devido, especialmente, aos menores tempos de permanência na FUT. A redução das perdas por “processamento incorreto” nos caminhões foi de 32,50%, sobretudo, devido a redução dos tempos das ocorrências “encalhado” e das atividades “operacional”.

Um dos benefícios obtidos pela melhoria da eficiência é a possibilidade de redução do número de conjuntos mecanizados, colhedoras, transbordos e caminhões. A eficiência de utilização, EFUT, considerada como eficiência gerencial, no estado presente para a colheita tem a média de 95,56%, para os transbordos 91,93% e 60,99% para o transporte. No estado futuro a EFUT resultou em 94,94%, 93,69% e 66,58% para colheita, transbordo e transporte respectivamente. As eficiências de campo, representadas pelo produto entre a eficiência de disponibilidade, EFDP, eficiência de operacional, EFOP, e a eficiência operacional líquida, EFOPL, encontradas no estado presente foram de 67,09%, 63,39% e 63,90%, no estado futuro foram de 73,78%, 67,44% e 62,76%, nesta ordem, colheita, transbordo e transporte. Com estas informações se verifica que, a partir do número de máquinas e veículos no estado presente de 3 colhedoras, 6 transbordos e 3 caminhões, no estado futuro a necessidade passa ser 2,7, 5,5 e 2,8 respectivamente. Evidentemente, não há como fazer esta redução na frente de colheita analisada,

porém, em uma análise mais abrangente na Usina, pode se alcançar uma redução de uma colhedora a cada conjunto de 12 máquinas, um transbordo a cada 13 conjuntos e um caminhão a cada 15 veículos.

4.3. Estudo de caso 3: Colheita mecanizada da madeira (CMM)

O presente estudo foi realizado a partir do acompanhamento do processo de colheita mecanizada de eucalipto, representado principalmente pela espécie híbrida *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, para produção de painéis de madeira, em uma unidade florestal localizada na região de Agudos, SP.

4.3.1. Mapeamento do processo

Na elaboração do mapa do processo, representado na figura 29, identificou-se que o processo utiliza um período de secagem das toras após a operação do traçamento das árvores derrubadas, com a finalidade de redução de volume e peso, com a perda de água retida. A jornada de trabalho diária é de 21 horas, 1260 minutos, 6 dias por semana, com interrupção aos domingos. Em que se pese essa informação, o processo foi considerado como um sistema não terminal, pois não possui condições iniciais fixas, e nem um evento que determina o final do processo. O corte e derrubada é executado por equipamentos denominados *feller-bunchers*, que formam feixes de árvores, efetuando o corte com cabeçote de disco. Após a derrubada as árvores são cortadas em toras de 6 metros de comprimento ou, com pouca frequência, 3 metros, conforme a necessidade da indústria, por um equipamento denominado garra traçadora, constituído de retroescavadeira montada com cabeçote que efetua o corte e forma feixes. Após o traçamento, o processo tem dois encaminhamentos distintos, dependendo do local de colheita.

Em áreas próximas à área industrial, onde se utilizam estradas rurais sem cobertura asfáltica, o carregamento das toras é feito por carregadoras florestais sobre esteiras diretamente aos caminhões articulados do tipo “fora de estrada”, denominados A30, com capacidade de 65 m³, os quais levam as toras para a área industrial. Em carregamentos realizados em fazendas, que somente são atingidas com a utilização de rodovias ou autoestradas, são utilizados os equipamentos do tipo *forwarder* para movimentação das toras até o carreador, e em sequência as toras são carregadas em caminhões tri-articulados, capacidade de 60 m³, para transporte à área industrial.

Figura 29. Mapa do processo colheita mecanizada da madeira – Estudo de caso 3.

Na área industrial ocorre, primeiramente, a pesagem, seguida pela medição de densidade, realizada por meio de imersão em água em parte dos carregamentos conforme definição do planejamento de colheita. As toras são descarregadas, por garras descarregadoras, diretamente nas esteiras de alimentação da indústria ou no pátio para formação de estoques, cuja capacidade é de trinta mil metros cúbicos.

Por meio da observação do mapa do processo os pontos em que o processo aguarda um tipo de sinal ou condição específica para que seja continuado foram identificados, aproximadamente 15 dias, sendo esse o tempo necessário para que a madeira perca parte da umidade. Contudo, a espera pela remoção ou baldeio após o traçamento pode ser maior do que o planejado, quando a madeira que já tenha perdido a umidade suficiente, permanece mais tempo que o necessário no campo aguardando o transporte. São situações não desejadas que podem ser configuradas como desperdícios a serem eliminados ou reduzidos.

Ao se realizar o mapeamento do processo, observou-se problemas de sincronismo entre as etapas que se caracterizaram como perdas operacionais. Uma operação com carregadora florestal, na qual já havia material para ser transportado, o equipamento e respectivo operador não realizaram o trabalho por mais de 24 horas pela falta da chegada dos caminhões. Observou-se uma garra traçadora impedida de trabalhar por vários dias devido a problemas mecânicos e outras interrupções menores, com grande frequência dentro do tempo reduzido de amostragem.

4.3.2. Mapeamento da qualidade

O respectivo mapa da qualidade foi desenhado para cada atividade designada no mapa de processo. Esses mapas foram utilizados como suporte nas análises direcionadas às possíveis melhorias de processo/.

O mapa da qualidade da etapa de corte e derrubada (Figura 30) revela os padrões de corte e tombamento dos feixes de árvores no solo. O controle do processo é feito pelo supervisor de colheita, bem como a medição de desempenho por contagem manual do número de árvores cortadas e o inventário que define a média de volume unitário das árvores da área de colheita. Os principais problemas desta etapa estão nos problemas mecânicos do *feller-buncher*, principalmente no sistema hidráulico e desgastes mecânicos devido ao uso.

A etapa de traçamento (Figura 31) tem como principal padrão o comprimento das toras após o corte e o posicionamento adequado dos feixes. A operação é direcionada para executar o corte em feixe de maior volume possível de acordo com a capacidade da garra. O padrão de qualidade da etapa não é definido e pode-se considerar como oportunidade para uma ação de melhoria. Os principais problemas identificados pelo mapa foram as falhas no corte, corrente de corte sem a tensão adequada e posicionamento incorreto da copa das árvores cortadas.

A remoção ou baldeio (Figura 32), executada pelos *forwarders* é caracterizada pela retirada das toras da posição deixada pela garra traçadora para o empilhamento ao longo do carreador em que se faz o carregamento dos caminhões de transporte para a indústria. A operação somente é iniciada com a avaliação de que as toras já estejam com o nível de umidade adequado, o que é alcançado pelo prazo aproximado de 15 dias após o corte. O empilhamento ao longo do carreador é definido pelo volume de madeira na quadra e deve ter uma altura entre três e quatro metros, de acordo com o padrão informado. O controle e medição da atividade é acompanhado pelo registro do número de deslocamentos efetuados pelo equipamento, dada a capacidade de 18 toneladas. Identificou-se como problemas na atividade, as manutenções devido às falhas mecânicas, o deslocamento sobre as árvores que já estejam iniciando a rebrota, “pisoteio”.

Corte de Eucalipto e derrubada no solo	
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> • Corte de 3 ou 4 Linhas. • "Tilt" no solo em ângulo de 90° com alinhamento das árvores. • 2º feixe colocado por cima. • Área de reforma: corte rente ao solo e aplicação de herbicida. • Outras Áreas: corte a 10 cm do solo em média.
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> • Contador manual de árvores derrubadas. • Avaliação do processo feita pelo Supervisor de Colheita. • Contabilização de produção em função do número de árvores derrubadas, volume médio por árvores inventariado anteriormente.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> • "Quebra" de máquina. • Principais problemas de máquina: hidráulica, articulações e desgaste mecânico. • Pontos a serem observados como rede elétrica, estradas e cercas.
Testes e Resultados	

Figura 30. Mapa da qualidade da etapa de corte e derrubada – Estudo de caso 3.

	Traçar árvores derrubadas	Organizar toras cortadas para movimentação
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> • Corte em comprimento de 6 metros (Há situações, com pouca frequência, com corte de 3 metros) • Área transversal da garra, de 0,6 m², define capacidade. • Traçar o maior número de árvores possível. • Evitar região de galhos. • Diâmetro mínimo : 4 cm 	<ul style="list-style-type: none"> • Copa deve ser posicionada na direção do declive.
Métodos / Controle de Medição	<ul style="list-style-type: none"> • Sob a verificação do Supervisor de Colheita. • Altura de corte. • Aproveitamento. • Qualidade das pilhas. • A desenvolver: padronização da qualidade da operação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contador de feixes manual. • Supervisor verifica nº de árvores por feixe.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> • Falha no corte. • Corrente de corte frouxa. • Derrubada ocorrida há pouco tempo. • Copa da árvores derrubada posicionada do lado do aclone. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamento que dificulta a remoção.
Testes e Resultados		

Figura 31. Mapa da qualidade da etapa de traçamento - Estudo de caso 3.

	Aguardar Baldeio	Baldear Toras para Carreador
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de 15 dias em média de espera. • Espera depende da umidade relativa do ar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Andar no alinhamento do plantio. • Quantidade determinada para remoção definida pela capacidade do equipamento (18 toneladas). • Armazenagem na bordadura da quadra, depende da quantidade de madeira na quadra, 3 a 4 metros de altura.
Métodos / Controle de Medição	Não há.	<ul style="list-style-type: none"> • Número de viagens: volume por viagem definido pela área transversal média das árvores (avaliado anteriormente pelo supervisor de colheita)
Problemas Conhecidos	Não definidos	<ul style="list-style-type: none"> • Pneus furados. • "Pisoteio" ; andar fora do alinhamento.
Testes e Resultados		

Figura 32. Mapa da qualidade da etapa de movimentação ou baldeio - Estudo de caso 3.

O mapa da qualidade da etapa de carregamento (Figura 33) apresentou que para esta atividade não existem padrões definidos formalmente. O motorista do caminhão, quando do carregamento, orienta o operador da garra carregadora com relação à distribuição da carga e os limites de altura e o principal problema da atividade se referem às falhas mecânicas do equipamento.

A etapa de transporte (Figura 34), pode ser realizada pelos caminhões fora de estrada A30 e caminhões rodoviários para transporte de madeira, dependendo da localização da quadra a ser feito o carregamento. Os padrões de trabalho existentes na etapa de transporte, na tarefa específica transportar, são informais, principalmente devido aos fatores relacionados à segurança operacional. No mapa da qualidade foi registrado o controle que se faz da densidade da madeira entregue na indústria, sendo, juntamente com o controle de permanência no pátio, os únicos controles efetivos desta etapa.

Os problemas identificados na etapa de transporte foram as condições das estradas, eventuais acidentes de trajeto, a indisponibilidade da garra que executa o descarregamento e as esperas quando se trata do descarregamento de toras de três metros.

	Secagem natural das toras cortadas	Aguardar Carregamento	Carregamento
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Tempo para a secagem condicionado pela umidade relativa do ar: em média de 15 dias. 	Não definidos.	<ul style="list-style-type: none"> Motorista orienta, à distância, distribuição e posicionamento da carga. Limite de 4,4 metros de largura (limitação da balança).
Métodos / Controle de Medição	Não há.	Não há.	<ul style="list-style-type: none"> Não há controle do carregamento. Área transversal da garra 0,6m². (Operador mencionou 0,8m²)
Problemas Conhecidos	Não definidos.	Não definidos.	<ul style="list-style-type: none"> Problemas causados por "quebra" de equipamento.
Testes e Resultados			

Figura 33. Mapa da qualidade da etapa de carregamento florestal - Estudo de caso 3.

	Transportar	Pesar carga	Desamarrar Carga	Descarregar	Limpeza de Carroceria	Deslocamento Vazio
Padrões	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de velocidade definido pela segurança de deslocamento. Procedimento em caso de pane no veículo é a chamada por rádio. Trajetos específicos definidos pela transportadora, no caso de transporte indireto. Micro planejamento de colheita para evitar "gargalos". 	<ul style="list-style-type: none"> Procedimento para aproximação e saída de balança. Portaria exclusiva para madeira. 	<ul style="list-style-type: none"> Execução por parte do motorista de transporte indireto (Terceiros) 	<ul style="list-style-type: none"> Estoque no pátio de pelo menos 1 semana. 10% de cada quadra é feito teste de "mergulho" para definição da densidade da madeira. Orientação do operador da garra carregadora para posicionamento do caminhão. 	<ul style="list-style-type: none"> Execução por parte do motorista de transporte indireto (Terceiros). 	<ul style="list-style-type: none"> Padrão de velocidade definido pela segurança de deslocamento. Procedimento em caso de pane no veículo é a chamada por rádio. Trajetos específicos definidos pela transportadora, no caso de transporte indireto.
Métodos / Controle de Medição	Não definidos.	<ul style="list-style-type: none"> Controle da área industrial. 	Não há	<ul style="list-style-type: none"> Controle de densidade. Tempo médio de permanência no pátio (controle efetuado pela área industrial). 	Não há	Não definidos.
Problemas Conhecidos	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de Veículo Interrupções no deslocamento. Condições ruins das estradas não pavimentadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Balança inoperante Acidentes durante aproximação da balança. 	Não definidos.	<ul style="list-style-type: none"> Indisponibilidade da garra carregadora. Esperas no descarregamento de toras de 3 metros. 	Não definidos.	<ul style="list-style-type: none"> Quebra de Veículo Interrupções no deslocamento. Condições ruins das estradas não pavimentadas.
Testes e Resultados						

Figura 34. Mapa da qualidade da etapa de transporte - Estudo de caso 3.

4.3.3. Tempos operacionais

Todas as atividades do processo foram observadas. A unidade de referência de produção neste processo é o volume das toras, expresso em metros cúbicos, apesar de que a demanda de entrada na indústria é medida pela massa em toneladas, razão pela qual é feita a medição da densidade, por amostragem na entrega do produto colhido.

A coleta dos tempos da operação de corte e derrubada foi feita a partir do acompanhamento de 102 ciclos de corte. Na operação de traçamento 160 ciclos foram registrados. Nas operações de baldeio, com o *forwarder*, 36 ciclos, e neste caso os ciclos são constituídos de deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento. Para coleta dos tempos de carregamento foram apontados 75 ciclos de carregamento de caminhões e 71 ciclos dos A30. Os parâmetros de deslocamento carregado e vazio do transporte para a indústria foram anotados por meio do acompanhamento de 30 ciclos de deslocamentos dos A30 e 27 ciclos de deslocamento dos caminhões. A coleta de tempos foi completada com o acompanhamento de 36 ciclos de descarregamento e 28 ciclos de deslocamentos e atividades no pátio da indústria, realizados pelos caminhões e A30s.

Os dados das interrupções de processo, referentes ao período de junho a outubro de 2015, registrados no sistema informatizado de gestão de processos da empresa, foram fornecidos para o presente trabalho. Cada tipo de interrupção foi tabulado em planilha eletrônica afim de se obter as correspondentes funções densidade de probabilidade, apresentadas no anexo J para as garras carregadoras e descarregadoras, no anexo K para os *feller-bunchers*, anexo L para os *forwarders*, anexo M para as garras traçadoras, anexo N para os caminhões A30 e anexo O para o caminhão terceirizado.

A definição das funções densidade de probabilidade, relacionadas às atividades produtivas do processo, foi obtida por meio da organização dos dados para utilização do módulo e análise no sistema computacional de modelagem e simulação de eventos discretos. As atividades de corte e derrubada, deslocamentos dos caminhões e dos caminhões A30 foram definidas por expressões que representam distribuições empíricas discretas porque outras funções não atenderam ao critério de $p\text{-value} > 0,10$ nos testes de Kolmogorov-Smirnov ou qui-quadrado.

As atividades de traçamento e carregamento são representadas por operações com as expressões das funções densidade de probabilidade definidas para os respectivos tempos de operação para cada feixe de toras, o número de toras de cada feixe e o diâmetro das toras. Os resultados das análises podem ser observados na tabela 21 e as expressões definidas para as atividades operacionais do processo.

Tabela 21. Funções densidade de probabilidade atribuídas às operações do processo colheita mecanizada da madeira.

Atividade	Máquina	Distribuição ajustada	Unidade
Corte e derrubada	<i>Feller-buncher</i>	CONT (0.000, 0.397, 0.891, 0.923, 0.960, 1.449, 0.970, 1.975, 0.980, 2.501, 0.990, 3.027, 1.000, 3.553, 1.000, 4.079, 1.000, 4.605, 1.000, 5.131, 1.000, 5.657, 1.000, 6.183)	min m ⁻³
Deslocamento carregado	<i>Forwarder</i>	1 + LOGN(4.69, 4.47)	m min ⁻¹
Deslocamento vazio	<i>Forwarder</i>	TRIA(10, 37, 100)	m min ⁻¹
Carregamento	<i>Forwarder</i>	TRIA(4.29, 7.94, 9.44)	min
Descarregamento	<i>Forwarder</i>	4 + LOGN(2.23, 2.04)	min
Taçamento	Garra traçadora	$(0.5 + \text{LOGN}(1.27, 0.614)) / (((\text{NORM}(11.8, 3.05)) * (\text{acos}(-1) * (\text{TRIA}(5, 13.5, 22) * 0.01)^{**2}) / 4) * 6)$	min m ⁻³
Carregamento A30s	Garra carregadora	$((\text{LOGN}(0.634, 0.267)) / (\text{TRIA}(28.5, 35.6, 47.5) * (\text{acos}(-1) * (\text{TRIA}(5, 13.5, 22) * 0.01)^{**2}) / 4) * 6)) * 65$	min
Carregamento caminhões	Garra carregadora	$((\text{TRIA}(0.18, 0.414, 1.43)) / (\text{TRIA}(28.5, 35.6, 47.5) * (\text{acos}(-1) * (\text{TRIA}(5, 13.5, 22) * 0.01)^{**2}) / 4) * 6)) * 60$	min
Deslocamento vazio	A30	CONT (0.000, 4.999, 0.118, 132.856, 0.205, 260.714, 0.364, 388.571, 0.446, 516.429, 0.528, 644.286, 0.759, 772.144, 1.000, 900.001)	m min ⁻¹
Deslocamento vazio	Caminhões	CONT (0.000, -0.001, 0.057, 195.285, 0.349, 390.571, 0.398, 585.857, 0.407, 781.142, 0.461, 976.428, 0.704, 1171.714, 1.000, 1367.000)	m min ⁻¹
Deslocamento carregado	A30	CONT (0.000, 1.000, 0.165, 64.546, 0.236, 128.091, 0.318, 191.637, 0.409, 255.182, 0.514, 318.728, 0.606, 382.273, 0.718, 445.819, 0.853, 509.364, 0.964, 572.910, 0.998, 636.455, 1.000, 700.001)	m min ⁻¹
Deslocamento carregado caminhões	Caminhões	CONT (0.000, 1.000, 0.059, 119.091, 0.172, 237.182, 0.430, 355.273, 0.544, 473.364, 0.602, 591.455, 0.644, 709.546, 0.678, 827.637, 0.717, 945.728, 0.779, 1063.819, 0.912, 1181.910, 1.000, 1300.001)	m min ⁻¹
Pesagem vazio	Balança	1.08 + 1.92 * BETA(0.906, 0.8)	min
Pesagem carregado	Balança	2 + 1.41 * BETA(0.847, 0.962)	min
Deslocamento vazio na indústria	A30 Caminhões	900/UNIF(150,450)	min
Deslocamento carregado na indústria	A30 Caminhões	1000/UNIF(6, 400)	min
Desamarrar carga	Caminhões	TRIA(5, 7.75, 10.5)	min
Limpeza	Caminhões	4 + LOGN(3.09, 5)	min
Descarregamento	A30 Caminhões	4 + EXPO(7.54)	min

Nota: CONT=distribuição empírica contínua ou discreta, LOGN=distribuição lognormal, TRIA=distribuição triangular, NORM=distribuição normal, BETA=distribuição beta, UNIF=distribuição uniforme, EXPO=distribuição exponencial.

Na figura 35 se observa o histograma referente à operação de corte e derrubada das árvores na forma como é apresentado no módulo de análise dos dados de entrada do sistema computacional utilizado para a

Figura 35. Histograma e expressão representativa dos dados da operação de corte e derrubada de árvores

modelagem e simulação.

4.3.4. Desenvolvimento do modelo computacional para simulação

Construído o modelo computacional para simulação inicial em tempo equivalente a 150 dias de processo, observou-se na variável de controle que a estabilização ocorre após 50.000 minutos de processamento. Determinou-se, assim, o período de 40 dias ou 50.400 minutos como tempo transiente necessário para estabilização da simulação.

Considerando o tempo transiente definido, 10 repetições e tempo de simulação equivalente a 150 dias, obteve-se para a variável de controle, tempo de descarregamento dos A30s na indústria, a média de 13,7 minutos e semi-intervalo de 0,244 minutos para 95% de nível de confiança. Na figura 36, obtida a partir do módulo de análise dos resultados (*output analyzer*) do sistema utilizado para simulação, observa-se o resultado da variável de controle. O valor do semi-intervalo (*half-width*), 0,24 minutos, é menor do que 5% do valor da média, o que atende ao critério estabelecido para validação do tempo e número de replicações adotados. O intervalo obtido após a simulação tem um valor da média (*average*) de 13,70 minutos, figura 36, com valor máximo (*maximum value*) de 14,40 minutos, valor

Figura 36. Intervalo de confiança para tempo médio de descarregamento dos A30s.

mínimo (*minimum value*) de 13,40 minutos e desvio padrão (*standard deviation*) de 0,34 minutos.

A comparação das médias de produção real, fornecido por relatórios gerenciais em referência à produção entre os dias 01/06/2015 e 31/10/2015, 103 dias de produção, e as médias de produção geradas na simulação em correspondentes 103 dias consecutivos, em teste “t” de *Student* foi positivo. A estatística “t” encontrada igual a 0,96 é menor que o valor crítico de 1,97 para as amostras, validando o modelo da forma como foi planejado (Tabela 22).

Tabela 22. Validação do modelo de simulação: média produção diária. Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes.

Variável	Comparação	
	Real	Simulada
Média (m ³ d ⁻¹)	3641,69	3438,57
Variância (m ⁶ d ⁻²)	2192436,45	2440772,72
Observações	103,00	103,00
Hipótese da diferença de média	0,00	
gl	203,00	
Stat t	0,9577	
P(T<=t) uni-caudal	0,1697	
t crítico uni-caudal	1,6524	
P(T<=t) bi-caudal	0,3393	
t crítico bi-caudal	1,9717	

4.3.5. Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado presente

Para o modelo de simulação computacional foi incluído, no módulo estatístico, o cálculo dos indicadores previstos para avaliação do processo. Para o processamento das estatísticas foi necessária a classificação dos tempos. A denominação de cada uma destas atividades ou ocorrência foram baseadas nos relatórios gerenciais da empresa em que se fez a coleta de dados. O resultado da classificação é apresentado na tabela 23, para o corte, tabela 24, para a operação de traçamento, tabela 25, para o carregamento, tabela 26, para o baldeio, tabela 27, para o transporte por A30, tabela 28, para o transporte de caminhões e tabela 29 para o descarregamento.

Tabela 23. Classificação dos tempos relacionados à etapa de corte e derrubada.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Corte	Produtivo Líquido	Agrega Valor
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Recurso em transporte	Auxiliar	Transporte
Aguardando descarga	Perdido	Processamento incorreto
Aguardando recurso	Perdido	Processamento incorreto
Auxílio outro equipamento	Perdido	Processamento incorreto
Transporte de operador	Perdido	Processamento incorreto
Treinamento reunião	Perdido	Processamento incorreto
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânico	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva mecânico	Manutenção	Espera
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 24. Classificação dos tempos relacionados à etapa de traçamento.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Traçamento	Produtivo líquido	Agrega valor
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Lavagem do equipamento	Auxiliar	Processamento incorreto
Recurso em transporte	Auxiliar	Transporte
Aguardando descarga	Perdido	Espera
Aguardando frentista comboio	Perdido	Processamento incorreto
Aguardando recurso	Perdido	Processamento incorreto
Auxílio outro equipamento	Perdido	Processamento incorreto
Transporte de operador	Perdido	Transporte
Treinamento reunião	Perdido	Espera
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânico	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção de cabeçote	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção Preventiva mecânico	Manutenção	Espera
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 25. Classificação dos tempos relacionados à etapa de carregamento.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Efetando o carregamento	Produtivo líquido	Agrega valor
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Lavagem do equipamento	Auxiliar	Espera
Aguardando descarga	Perdido	Processamento incorreto
Em transporte	Perdido	Transporte
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 26. Classificação dos tempos relacionados à etapa de baldeio.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Deslocamento carregado	Produtivo líquido	Agrega valor
Carregar	Produtivo líquido	Agrega valor
Descarregar	Produtivo líquido	Agrega valor
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Lavagem do equipamento	Auxiliar	Espera
Recurso em transporte	Auxiliar	Transporte
Aguardando descarga	Perdido	Processamento incorreto
Aguardando frentista comboio	Perdido	Processamento incorreto
Aguardando recurso	Perdido	Processamento incorreto
Auxílio outro equipamento	Perdido	Processamento incorreto
Improdutiva de apoio	Perdido	Processamento incorreto
Transporte de operador	Perdido	Transporte
Treinamento reunião	Perdido	Espera
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção de implemento	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção de pneus	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 27. Classificação dos tempos relacionados à etapa de transporte por A30.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Deslocamento carregado	Produtivo líquido	Agrega valor
Descarregamento	Produtivo Líquido	Agrega valor
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Lavagem do equipamento	Auxiliar	Espera
Aguardando carga	Auxiliar	Espera
Auxílio outro equipamento	Perdido	Processamento incorreto
Treinamento reunião	Perdido	Espera
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção de pneus	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva mecânica	Manutenção	Espera
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 28. Classificação dos tempos relacionados à etapa de transporte caminhões.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Deslocamento carregado	Produtivo líquido	Agrega valor
Descarregamento	Produtivo líquido	Agrega valor
Deslocamento vazio	Acessório	Transporte
Aguardando carga	Auxiliar	Espera
Fazendo ar bate pneu outros	Auxiliar	Processamento incorreto
Abastecimento lubrificação	Auxiliar	Espera
Problema mecânico campo	Manutenção	Processamento incorreto
Oficina mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Teste de oficina	Manutenção	Espera
Manutenção preventiva	Manutenção	Espera
Aguardando borracharia	Manutenção	Processamento incorreto
Aguardando programação	Perdido	Processamento incorreto
Falta do motorista operador	Perdido	Processamento incorreto
Encalhado	Perdido	Processamento incorreto
Outras esperas	Perdido	Espera

Tabela 29. Classificação dos tempos relacionados à etapa de descarregamento.

Atividade ou ocorrência	Classificação	
	Padrão Tempo	Mentalidade Enxuta
Efetuando o descarregamento	Produtivo líquido	Agrega valor
Abastecimento	Auxiliar	Espera
Lavagem do equipamento	Auxiliar	Espera
Aguardando descarga	Perdido	Processamento incorreto
Em transporte	Perdido	Transporte
Falta de peças	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva mecânica	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção corretiva operador	Manutenção	Processamento incorreto
Manutenção preventiva operador	Manutenção	Espera
Outras esperas	Perdido	Espera

O diagrama do mapeamento do fluxo do valor (MFV) no estado presente foi inserido no ambiente de animação do sistema computacional de simulação de eventos discretos, onde os indicadores de desempenho adotados foram sendo atualizados simultaneamente ao processamento. Na figura 37 os resultados dos indicadores são apresentados após uma das replicações da simulação. Foram representados, para cada etapa do processo, os tempos de ciclo (TC), tempos de valor agregado (TVA), tempos médios de espera (Tesp), tempos médio de processamento incorreto (Tpi) e a eficiência global líquida (EFGL). Considerou-se que estes indicadores fornecem subsídios básicos para as análises no mapeamento do fluxo do valor do processo.

Figura 37. Resultado de uma das replicações da simulação do MFV no estado presente

Dessa forma, o mapeamento foi completado após todas as replicações previstas. O tempo de valor agregado total no processo foi de 262,7 minutos por carregamento entregue na indústria e *lead time* total de 3.126,61 minutos por carregamento entregue. Entre os valores dos indicadores (tabela 30), observa-se que a eficiência de aproveitamento, indicador que avalia o quanto se aproveita do tempo total, é constante igual a 87,5%, correspondente a 21 horas de jornada de trabalho em relação a 24 horas totais diárias. Também, a eficiência de tidão é constante e igual a 100%, pois neste processo não há interrupções relacionadas às condições climáticas ou de solo.

Tabela 30. Resultado dos Indicadores de desempenho do MFV no estado presente.

Indicador	%	Semi-intervalo
EFDP Eficiência de disponibilidade A30	34,90	0,71
EFDP Eficiência de disponibilidade Caminhão	25,86	0,62
EFDP Eficiência de disponibilidade FB	45,02	0,51
EFDP Eficiência de disponibilidade FW	94,29	0,62
EFDP Eficiência de disponibilidade GC	56,14	0,75
EFDP Eficiência de disponibilidade GD	55,92	1,07
EFDP Eficiência de disponibilidade GT	19,79	0,28
EFDP Eficiência de disponibilidade Total	36,01	0,36
EFUT Eficiência de Utilização A30	68,21	0,46
EFUT Eficiência de Utilização Caminhão	56,18	0,16
EFUT Eficiência de Utilização FB	74,75	0,11
EFUT Eficiência de Utilização FW	94,63	0,87
EFUT Eficiência de Utilização GC	33,33	0,51
EFUT Eficiência de Utilização GD	24,23	0,74
EFUT Eficiência de Utilização GT	96,18	0,92
EFUT Eficiência de Utilização Total	65,09	0,31
EFOP Eficiência operacional A30	82,68	0,32
EFOP Eficiência operacional Caminhão	73,78	0,37
EFOP Eficiência operacional FB	94,88	0,45
EFOP Eficiência operacional FW	99,09	0,12
EFOP Eficiência operacional GC	98,40	0,09
EFOP Eficiência operacional GD	97,76	0,09
EFOP Eficiência operacional GT	97,49	0,22
EFOP Eficiência operacional Total	90,02	0,12
EFOPL Eficiência operacional líquida A30	55,86	1,21
EFOPL Eficiência operacional líquida Caminhão	67,90	0,78
EFOPL Eficiência operacional líquida FB	100,00	0,00
EFOPL Eficiência operacional líquida FW	74,57	0,23
EFOPL Eficiência operacional líquida GC	100,00	0,00
EFOPL Eficiência operacional líquida GD	100,00	0,00
EFOPL Eficiência operacional líquida GT	100,00	0,00
EFOPL Eficiência operacional líquida Total	81,72	0,32
EFGL Eficiência Global A30	17,22	0,37
EFGL Eficiência Global Caminhão	9,38	0,26
EFGL Eficiência Global FB	27,94	0,34
EFGL Eficiência Global FW	77,36	0,61
EFGL Eficiência Global GC	16,11	0,35
EFGL Eficiência Global GD	11,58	0,28
EFGL Eficiência Global GT	16,24	0,30
EFGL Eficiência Global Total	18,46	0,22
EFGLL Eficiência Global Líquida A30	9,62	0,27
EFGLL Eficiência Global Líquida Caminhão	6,37	0,19
EFGLL Eficiência Global Líquida FB	27,94	0,34
EFGLL Eficiência Global Líquida FW	57,68	0,32
EFGLL Eficiência Global Líquida GC	16,11	0,35
EFGLL Eficiência Global Líquida GD	11,58	0,28
EFGLL Eficiência Global Líquida GT	16,24	0,30
EFGLL Eficiência Global Líquida Total	15,09	0,17

Nota: A30 = caminhões fora de estrada modelo A30; FB = *feller-buncher*; FW = *forwarder*; GC= garra carregadora; GD = garra descarregadora; GT = garra traçadora; EFDP = eficiência de disponibilidade; EFUT = eficiência de utilização; EFOP = eficiência operacional; EFOPL = eficiência operacional líquida; EFGL = eficiência global; EFGLL = eficiência global líquida.

Observa-se que as eficiências globais líquidas (EFGLL) do processo têm valores inferiores a 50,00%, exceto pelo resultado dos *forwarders*, cuja eficiência global líquida foi de 57,68%. Este resultado deve-se principalmente às perdas por manutenção que afetam a eficiência de disponibilidade (EFDP) e as ocorrências e atividades classificadas como tempos perdidos que provocam a redução da eficiência de utilização (EFUT).

4.3.6. Análise de acordo com mentalidade enxuta

A análise feita a partir da configuração do MFV no estado presente e do roteiro de 8 pontos de Rother e Shook (2007), apresentados na tabela 4 da página 53.

Para o primeiro ponto, o valor do tempo *takt* e *pitch* calculados para a necessidade diária da indústria de 870 t por turno de trabalho, com 3 turnos diários. Considerando-se a densidade informada nos relatórios de produção para se transformar o volume de madeira em valores em unidade de massa, se encontra o tempo *takt* de 0,48 min t⁻¹ e o *pitch* de 24,77 minutos. Os valores para esses indicadores encontrados na simulação foram de 0,45 minutos como intervalo hipotético para entrega de cada tonelada de madeira colhida e 23,20 minutos de intervalo médio entre descarregamento de caminhões. Isto significa que o ritmo de entrega resultante atende ao ritmo determinado pela demanda.

No segundo ponto, verifica-se que existe a armazenagem intermediária após as operações de traçamento e baldeio, realizadas antes do carregamento dos caminhões de transporte. Isso não implica, entretanto, que essa armazenagem intermediária sirva como forma de controle de ritmo de produção, pois se dá em função da necessidade de perda de umidade e ausências circunstanciais no sincronismo entre as etapas.

O terceiro ponto, refere-se ao local onde o fluxo contínuo de produção poderá ser utilizado. A implantação de um fluxo contínuo pode parecer um paradoxo neste tipo de processo, porém pode trazer o benefício de menores desperdícios, considerando que as toras armazenadas no campo, aguardando movimentação ou carregamento em tempo maior que o necessário, sejam um dos tipos de desperdícios mencionados por Ohno (1997), perda do tipo “espera”.

O quarto ponto questiona a necessidade da criação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo “puxada”. Em fato, pode ser feita a criação de um controle da quantidade de madeira cortada no campo, em função do tempo de secagem estipulado e a demanda. Caracterizando a criação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo “puxada”. Este volume de controle, considerado um estoque intermediário regulador, seria calculado em função do *pitch* e do tempo de 15 dias, considerados necessários para secagem da madeira traçada.

Para atendimento à demanda, considerando o *pitch* de 24,77 minutos, são necessários 51 carregamentos diários de volume médio de 62,00 m³, calculado pelas capacidades dos A30s e caminhões terceirizados. Para 15 dias seriam, em valores arredondados, 47.000 m³ a serem utilizados como referência para início dos carregamentos ou movimentações em uma determinada quadra de árvores derrubadas.

Para o quinto ponto, o local da cadeia de produção que pode utilizado para a programação de produção seria junto à balança, na entrada da área industrial. A referência para a programação da produção seria baseada no intervalo em que deve haver a chegada de caminhões para o descarregamento, caracterizado como *pitch*.

Para o sexto ponto, o nivelamento da produção na etapa que ditará o ritmo de processo é realizado em função do número de equipamentos de cada etapa e respectivos tempos de ciclo. Para isso, deve-se verificar o balanceamento operacional das etapas do processo em relação ao *pitch*, intervalo de tempo em que se entrega o equivalente a um carregamento de caminhão de madeira na indústria. Ao se efetuar a divisão dos tempos de ciclo de cada etapa pelo número de equipamentos disponíveis à cada etapa, obtêm-se os tempos de ciclo individuais que devem ser inferiores ao *pitch*, para que a demanda seja atendida. Observa-se na figura 38 que os tempos de ciclo por equipamento atendem a esse princípio, porém não há um equilíbrio entre as etapas e, pela ocorrência de perdas na operação, o risco de não atendimento à demanda existe. Evidencia-se que as atividades de transporte realizadas pelos A30s e pelas garras traçadoras se tornam restrições no processo, pois seus tempos de ciclo, 21,93 minutos e 20,36 minutos respectivamente, são próximos ao valor do *pitch*, 24,77 minutos. Quaisquer perdas nessas etapas podem ser comprometedoras para o atendimento à demanda. Ressalta-se, assim, que se deve colocar foco em melhorias referentes nessas atividades. A determinação do ritmo, por meio do estoque intermediário de controle, passa pela realização eficiente do traçamento e do transporte.

Figura 38. . Balanceamento do processo no estado presente – Estudo de caso 3.

A situação ideal é a de que houvesse o equilíbrio entre as etapas. Ao se calcular o número de equipamentos necessários ao processo, baseando-se nos respectivos tempos de ciclo e no *pitch*, encontra-se 4 caminhões A30, 4 caminhões terceirizados, 2 *forwarders*, 2 *feller-bunchers*, 1 garra carregadora, 1 garra descarregadora, e 3 garras traçadoras, resultando o balanceamento apresentado na figura 39. Ao se comparar o número teórico com os números real de equipamentos, verifica-se que existe uma diferença no número de equipamentos, pois no estado presente se considerou 12 caminhões terceirizados, 2 garras descarregadoras, 2 garras carregadoras e 3 *feller-bunchers*. Pela logística da operação em que ocorrem carregamentos simultâneos em mais de uma frente, não se poderia ter apenas uma única máquina para efetuar os carregamentos, mas os outros equipamentos poderiam ter o número reduzido, obtendo um melhor balanceamento entre as etapas do processo, todavia como os tempos de ciclo ficariam próximo do *pitch* e, não estão incluídos nos tempos de ciclo as perdas e interrupções das operações, o atendimento à demanda poderia ser afetado.

Figura 39. Balanceamento do processo com os conceitos da mentalidade enxuta – Estudo de caso 3.

Uma segunda opção para o balanceamento entre etapas seria com o aumento para 5 caminhões A30, redução para 6 caminhões terceirizados, redução de uma garra descarregadora e acréscimo de uma garra traçadora, resultando no balanceamento apresentado na figura 40. O balanceamento também ocorreria e o atendimento à demanda teria menos riscos, porém as perdas e interrupções das operações não seriam solucionadas e o processo não atenderia aos conceitos da mentalidade enxuta.

Figura 40. Balanceamento do processo de acordo com a opção 2 – Estudo de caso 3.

Para o sétimo ponto, a quantidade de produto que pode ditar o ritmo na operação de carregamento é equivalente à capacidade dos caminhões, observando-se o estoque de controle intermediário.

O oitavo ponto, melhorias necessárias no processo, são analisadas com base nos tempos classificados como tempos de espera e tempos de processamento incorreto, pois quantificam as principais atividades ou ocorrências no processo que não agregam valor, constituindo desperdícios (tabela 31). As propostas de ações são, desta forma, direcionadas à redução ou eliminação desses desperdícios, com enfoque nas situações com maiores oportunidades.

Tabela 31. Tempos médios das perdas no estado presente.

Indicadores de perdas	Tempos (min)	
	Média	Semi-intervalo
Tesp A30	89,80	2,63
Tesp Caminhão	102,39	1,47
Tesp FB	24,91	0,73
Tesp FW	2,42	0,31
Tesp GC	35,40	0,71
Tesp GD	39,95	1,41
Tesp GT	5,83	0,63
Tpi A30	156,07	12,03
Tpi Caminhão	85,77	2,55
Tpi FB	33,03	1,02
Tpi FW	4,58	0,59
Tpi GC	15,97	0,98
Tpi GD	16,16	1,07
Tpi GT	10,97	0,66

Nota: Tesp =Tempo de espera; Tpi = Tempo de processamento incorreto; A30 = Caminhões A30; Caminhão = Caminhão terceirizado; FB = *Feller-buncher*; FW = *Forwarder*; GC = Garra carregadora; GT = Garra traçadora; GD=Garra descarregadora.

A análise dos indicadores, apresentados na tabela 30, página 117, evidencia a baixa eficiência de disponibilidade (EFDP) dos equipamentos, o que define que existem altas perdas por motivo de manutenção. Outro indicador com baixos resultados é a eficiência de utilização (EFUT), principalmente na etapa de transporte executada pelos caminhões terceirizados e A30. A EFUT demonstra os tempos perdidos, que conceitualmente são originários de insuficiências administrativas. Por consequência, as causas das baixas eficiências destes dois indicadores serão analisadas para que sejam propostas ações de melhorias.

Verifica-se que, de acordo com os registros, existem atividades de manutenção preventiva. Porém, as ocorrências inesperadas de parada para manutenção são frequentes. Para os A30s, a EFDP é de 34,90%, com 88,20% das perdas devido a necessidade de reposição de peças não disponíveis e 7,80% devido ao tempo de manutenção corretiva. O tempo de manutenção preventiva desses equipamentos, é relativamente pequeno e, de acordo com os resultados ineficaz. Durante o período de levantamento dos tempos verificou-se que um dos caminhões fora de estrada A30 não estava disponível porque passava por uma manutenção reparadora geral.

Os caminhões tri-articulados são de propriedade de terceiros, mas a perda de eficiência da frota afeta o processo. A EFDP destes veículos é de 25,86%, sendo que 75,60% das perdas ocorrem pela parada na oficina para realização de reparos e 7,80% por problemas no campo. Não existem atividades registradas de manutenção preventiva.

Os *feller bunchers* tem como causa de baixa eficiência EFDP a manutenção corretiva, com 44,40% dos tempos de interrupção e 30,70% pela falta de peças de reposição. A baixa eficiência EFDP das garras traçadoras são devido a manutenção corretiva, 41,90% e 30,70% por indisponibilidade de peças de reposição. Grandes perdas ocorrem apesar da existência de registros de manutenção preventiva para os dois tipos de equipamentos.

Conforme apontamentos, os operadores dos equipamentos realizam tanto atividades de manutenção corretiva, como manutenção preventiva. O que se avalia é que devem faltar condições apropriadas de treinamento e ferramental para a execução das tarefas, principalmente em atividades de campo, cujas condições são mais severas. Tem-se conhecimento da existência de um programa de implementação da manutenção produtiva total (MPT) na empresa, inclusive com auditorias regulares realizada pelo departamento da qualidade. Os resultados obtidos não refletem a eficácia do programa, apesar de que está apenas em estágio inicial. Por essas razões, têm-se duas propostas de melhorias a serem implantadas em todos os equipamentos.

A primeira proposta seria o fortalecimento da implantação da manutenção produtiva total (MPT) como um projeto que envolva não apenas os operadores, mas também pessoal da gestão e mantenedores, conforme proposto por Nakajima (1989). Trabalhos recentes têm apresentado bons resultados de melhoria de eficiência ao se implantar os conceitos da MPT. Kumar, Soni e Agnihotri (2014) realizaram estudo amostral em 175 indústrias de diversos setores na Índia, resultando que, em média, as empresas aumentaram seus desempenhos medidos pela eficiência operacional em 36,5% com a implantação da MPT.

Propõe-se, então, que se realize as seguintes atividades em sequência para implantação do MPT no processo: criação de um comitê multi-disciplinar para conduzir a implantação, desenvolvimento de um plano de ação, definição das melhorias específicas, definição do método de acompanhamento, implantação do programa 5 “S”, preparação da manutenção autônoma, definição dos padrões de trabalho, definição de ações de eliminação das deteriorações, criação da inspeção autônoma, aplicação da manutenção autônoma completa; sistema de auditoria para acompanhamento. Por meio desta sequência obteve-se, em implantação da MPT em indústria metalúrgica, uma redução das manutenções corretivas em 4,47% em um ano de acompanhamento (BARTZ; SILUK; BARTH BARTZ, 2014). Em outro trabalho de implantação na indústria, um estudo do modo e efeito de falhas foi realizado inicialmente, definindo-se a criticidade e ações preventivas dos modos de falha, desenvolvendo-se um plano de manutenção, com monitoramento de lubrificantes, análise de vibrações, análise térmica de componentes, resultando em um aumento de disponibilidade dos equipamentos em 32,00% (KUMAR SHARMA; GOPAL SHARMA, 2014).

A segunda proposta seria um trabalho para mapeamento da criticidade e dos riscos relativos às peças de reposição necessárias para a manutenção dos equipamentos. Hassan, Khan e Hasan (2012) propuseram uma metodologia em que, utilizando de análise probabilística e ações de inspeção regulares, se definem os itens e quantidades de peças de reposição. Um resultado de 94,00% de disponibilidade dos equipamentos foi atingido.

Para aumento da eficiência de utilização (EFUT) deve-se atuar na criação dos padrões de trabalho, treinamento de pessoal e gestão próxima às atividades operacionais. A insuficiência de padrões de trabalho, identificada nos mapas da qualidade entre as ocorrências e atividades consideradas tempos perdidos, é ponto comum no processo. Embora não agreguem valor, algumas atividades são necessárias, como o transporte de equipamentos, treinamentos e reuniões, elas podem ser realizadas em momentos que não afetem a eficiência do processo.

Ações previstas para melhorar o indicador EFUT se iniciam pelo mapeamento da atividade em conjunto com todo o pessoal envolvido, pois a implantação deve ser construída em conjunto. A definição dos pontos críticos, possibilita a priorização da atenção, concentrando-se no que causa maior impacto. Deve-se definir os padrões de trabalho, porque na ausência desses não se consegue avaliar o desempenho do processo corretamente e não se tem base para as melhorias. O treinamento com base nos padrões de trabalho aumenta a capacitação do pessoal. Para finalizar, implanta-se a gestão à vista, onde os indicadores de desempenho são desdobrados e acompanhados entre todos os envolvidos. Estas ações devem ser estendidas a todas etapas do processo. Em estudo de caso realizado em fazenda produtora de carne bovina localizada no Reino Unido, em que se apresenta a implantação dos conceitos da

mentalidade enxuta, de maneira especial as ações de padronização no relacionamento com a cadeia de suprimentos e no próprio processo agropecuário (COLGAN, ADAM e TOPOLANSKY, 2013), se alcançou um aumento de 23,00% na eficiência do processo,

Os estoques intermediários do MFV no estado presente, compõem, em conjunto com os tempos de ciclo de cada etapa do processo, o *lead time* total. O *lead time* e os tempos de ciclo ao serem reduzidos, possibilitam a utilização de menores quantidades de recursos para atendimento à demanda, aumentando o potencial da lucratividade do empreendimento. As árvores derrubadas aguardando a operação de traçamento, as toras aguardando baldeio, as toras aguardando carregamento nos A30s, as toras baldeadas aguardando carregamento nos caminhões e as cargas antes de descarregamento na indústria foram considerados estoques intermediários em processo. Esses estoques foram registrados na forma de tempo de espera e registrados na simulação. A ação necessária para redução desses tempos de esperas, especificamente, direciona à melhoria do sincronismo, padronização das definições de contorno entre etapas, implantação de controles visuais para favorecer a gestão dessas definições. Ações semelhantes são descritas em trabalho realizado no Reino Unido para implantação da mentalidade enxuta em atividade agropecuária (COLGAN, ADAM e TOPOLANSKY, 2013), onde houve o aumento das margens de lucro por área ocupada em 16,00%.

4.3.7. Mapeamento do fluxo de valor - MFV no estado futuro

O estado futuro é uma situação em que as melhorias propostas (Tabela 32) são implementadas por meio da simulação e se tem um processo mais enxuto, com menos desperdícios.

As ocorrências de manutenção medidas pela eficiência de disponibilidade (EFDP) terão suas respectivas funções densidade de probabilidade reajustadas, pressupondo-se que as melhorias implantadas propiciarão a redução do tempo médio entre ocorrência de 32,00% como no estudo de Kumar Sharma e Gopal Sharma (2014), o tempo médio para reparo reduzido em 4,47% conforme estudo de Bartz, Siluk e Barth Bartz (2014) e as perdas por falta de peças de reposição sejam apenas 4% da EFDP como na pesquisa de Hassan, Khan e Hasan (2012).

Da mesma forma, os tempos perdidos, medidos pela eficiência de utilização (EFUT), tiveram suas funções densidade de probabilidade reajustadas, assumindo-se que as propostas de melhoria são bem-sucedidas. Assim, também para os tempos de espera que caracterizam os estoques intermediários em processo. Um fator de redução de 23,00% nas ocorrências de tempos perdidos foi aplicado no modelo de simulação e uma redução de 16,00% nas causas dos tempos de espera, similarmente aos resultados apresentados por Colgan, Adam e Topolansky (2013). Nova simulação foi executada, em mesmas condições realizada para o MFV no estado presente, de onde se obtém novos valores para os indicadores de desempenho (Tabela 33).

Tabela 32. Melhorias propostas ao processo de colheita mecanizada da madeira (CMM).

Problema	Ação	Resultado esperado	Referência
Descontinuidade do fluxo de processo	Implantação de armazenagem intermediária para se obter a produção do tipo puxada. Com 47.000 m ³ a serem utilizados como gatilho para início dos carregamentos.	Redução da variação do <i>lead time</i> total do processo	Rother e Shook (2007).
Excesso de interrupções causada por manutenção corretiva nos <i>feller bunchers</i> , <i>A30s</i> , <i>forwarders</i> e caminhões.	Implantação da manutenção produtiva total (MPT) como sistema de gestão da manutenção	Aumento de 32% no tempo médio entre interrupções e redução no tempo médio da interrupção em 32%.	Nakajima (1989); Kumar, Soni e Agnihotri (2014); Bartz, Siluk e Bartz (2014); Sharma e Sharma (2014)
Máquinas e caminhões com longas paradas por falta de peças de reposição	Mapeamento da criticidade e dos riscos relativos às peças de reposição necessárias para a manutenção dos equipamentos	Tempo indisponível por falta de peças de no máximo 6% da jornada de trabalho.	Hassan, Khan e Hasan (2012)
Excesso de atividades consideradas tempos perdidos,	Mapeamento do processo relativo a cada atividade; definição dos padrões de trabalho; treinamento com base nos padrões de trabalho; implantação da gestão à vista.	Redução de 23% nos tempos das atividades classificadas como tempos perdidos.	Colgan, Adam e Topolansky (2013)
Estoques intermediários no processo, medidos pelo tempo de espera pelo traçamento, tempo de espera por baldeio, tempo de espera por carregamento dos caminhões, tempos de espera na indústria, maiores que o necessário.	Melhoria do sincronismo, padronização das definições de contorno entre etapas, implantação de controles visuais.	Redução de 16% nos estoques intermediários	Colgan, Adam e Topolansky (2013)

Tabela 33. Comparação de Indicadores do MFV nos estados presente e futuro.

Indicador	Unidade	MFV			
		Estado Presente		Estado Futuro	
		Média	Semi-intervalo	Média	Semi-intervalo
EFDP eficiência de disponibilidade A30	%	34,90	0,71	44,78	0,51
EFDP eficiência de disponibilidade caminhão	%	25,86	0,62	30,85	0,13
EFDP eficiência de disponibilidade GT	%	19,79	0,28	23,13	0,06
EFUT eficiência de utilização caminhão	%	56,18	0,16	59,07	0,16
EFUT eficiência de utilização GT	%	96,18	0,92	98,88	0,25
Produção total	t	328.969	6.095	398.317	1.842
Lead time total do processo	min	3.126,61	184,79	1.867,22	77,23
Tempo médio carregado na indústria A30	min	105,66	9,51	26,27	0,14
Tempo médio espera baldeio	min	336,30	34,37	90,88	5,11
Tesp A30	min	89,80	2,63	80,36	0,74
Tesp Caminhão	min	102,39	1,47	77,14	0,66
Tesp FB	min	24,91	0,73	22,34	0,20
Tesp FW	min	2,42	0,31	0,13	0,02
Tesp GC	min	35,40	0,71	40,17	0,22
Tesp GD	min	39,95	1,41	43,87	0,25
Tesp GT	min	5,83	0,63	2,23	0,17
Tpi A30	min	156,07	12,03	26,36	0,68
Tpi Caminhão	min	85,77	2,55	55,42	0,75
Tpi FB	min	33,03	1,02	9,66	0,29
Tpi FW	min	4,58	0,59	0,25	0,02
Tpi GC	min	15,97	0,98	1,80	0,08
Tpi GD	min	16,16	1,07	1,93	0,10
Tpi GT	min	10,97	0,66	2,79	0,12
TVA Total	min	262,70	2,57	259,43	0,97

Nota: EFDP=Eficiência de disponibilidade; EFUT=Eficiência de utilização; Tesp=Tempos de esperas; Tpi=Tempo de processamento incorreto; *Lead time* = Tempo médio entre início da colheita e entrega de uma carga equivalente à capacidade de um caminhão na indústria; TVA=Tempo de valor agregado; A30=Caminhões modelo A30; Caminhão=Caminhão terceirizado para transporte de madeira; FB=*Feller-buncher*; FW=*Forwarder*; GC=Garra carregadora; GD; Garra descarregadora; GT=Garra traçadora.

Em exceção ao tempo de valor agregado total (TVA Total) e a eficiência de disponibilidade da garra traçadora (EFDP eficiência de disponibilidade GT), todos os resultados apresentaram diferença significativa ao nível de 5,00%. Dentre os indicadores de desempenho obtidos no estado futuro, tem-se o aumento da produção em toneladas para o mesmo período, 328.969 t no estado presente e 398.317 t no estado futuro, aumento de 21,08%. A possibilidade de aumento de desempenho produtivo se reflete no intervalo entre chegada de cargas, reduzido de 23,20 minutos para 17,50 minutos, o que atenderia com maior intervalo ao *pitch* de 24,77 minutos. A redução dos tempos perdidos e tempos de manutenção resultaram em redução nos indicadores de tempo de espera médio Tesp em média de 11,50% e tempos de processamento incorreto Tpi em média de 69,50%.

As ações propostas também possibilitam a redução do *lead time* total de 3.126 minutos para 1.867 minutos. O resultado desta redução e da melhoria das eficiências pode ser interpretado na possibilidade de redução do número de equipamentos e máquinas para o mesmo intervalo de tempo disponível para a produção. Como pode ser observado na tabela 34, o número de caminhões A30 pode ser reduzido de 4 para 3, os caminhões podem ser

reduzidos em número de 12 para 8, em relação aos *feller-bunchers*, pode-se reduzir para duas máquinas.

Tabela 34. Número de máquinas no estado presente e futuro em função da melhoria das eficiências do estado futuro em relação ao estado presente.

	NC _p	NC _f	EFDP _p x EFOP _p x EFOPL _p	EFDP _f x EFOP _f x EFOPL _f	EFUT _p	EFUT _f
			%	%	%	%
A30	4	3	16,12	24,57	68,21	64,64
Caminhão	12	8	12,95	18,52	56,18	59,08
FB	3	2	42,72	60,83	74,75	75,57
FW	2	2	69,67	68,72	94,63	99,75
GC	2	2	55,24	70,57	33,33	26,84
GD	2	2	54,67	70,00	24,23	19,84
GT	2	2	19,29	22,75	96,18	98,88

Nota: NC_p=Número de conjuntos mecanizados, máquinas ou veículos no cenário do estado presente; NC_f=Número de conjuntos mecanizados, máquinas ou veículos no cenário do estado futuro; EFDP_p=Eficiência de disponibilidade no cenário do estado presente; EFOP_p=Eficiência operacional no cenário do estado presente; EFOPL_p=Eficiência operacional líquida no cenário do estado presente; EFUT_p=Eficiência de utilização no cenário do estado presente; EFDP_f=Eficiência de disponibilidade no cenário do estado futuro; EFOP_f=Eficiência operacional no cenário do estado futuro; EFOPL_f=Eficiência operacional líquida no cenário do estado futuro; EFUT_f=Eficiência de utilização no cenário do estado futuro; A30 = caminhões fora de estrada modelo A30; Caminhão = caminhões terceirizados; FB = feller-buncher; FW=forwarder; GC = garra carregadora; GD = garra descarregadora; GT = garra traçadora.

Essa possibilidade de redução do número de máquinas também pode ser entendida como a possibilidade de se realizar o mesmo volume de produção em um intervalo de tempo menor, com a mesma quantidade de equipamentos. Claramente, tem-se que se observar se não haveria nenhum problema operacional em se trabalhar com menos equipamentos, enfoque não abordado nessa análise.

5. CONCLUSÕES

Os métodos do modelo de gestão mentalidade enxuta são passíveis de serem aplicados no setor agroflorestal. Por meio deles foram identificados os pontos críticos nos três estudos de caso, permitindo demonstrar, por meio da simulação, a melhoria da eficiência e produtividade pela redução das atividades sem valor agregado.

A utilização dos indicadores de desempenho propostos para os sistemas mecanizados agrícolas e a classificação das perdas, ou desperdícios, pelo conceito da mentalidade enxuta auxiliaram na identificação dos problemas e na comparação de cenários quanto aos desperdícios.

O mapeamento do fluxo do valor e o roteiro de análise para identificação de melhorias possibilitaram desenvolver cenários, denominados de estados futuro, mais eficientes. Por meio da simulação computacional, verifica-se que as demandas podem ser atendidas com um menor número e/ou menos tempo de trabalho nos processos.

O mapeamento de processo e o mapeamento da qualidade foram eficazes como etapas na identificação de oportunidades de melhoria. Os mapeamentos permitem evidenciar as atividades com problemas, atividades as quais, muitas vezes, são considerados como normais na rotina das atividades produtivas.

Na colheita mecanizada da cana de açúcar, todas as etapas têm muitas oportunidades de melhoria, porém a etapa que se deve ter uma atenção especial, na eliminação das atividades que não agregam valor, devido ao fato do tempo de ciclo estar próximo do *pitch*, em ambos os casos estudados, seria a etapa de transbordo. Com relação à redução do número de veículos, a etapa de transporte foi aquela que apresentou a maior oportunidade.

As etapas de traçagem, transporte executado pelos caminhões A30 e corte e derrubada, executada pelos *feller-bunchers*, devem ter a maior atenção na aplicação das melhorias, para que a demanda tenha o menor risco de não ser atendida, na colheita mecanizada da madeira. O transporte realizado por caminhões terceirizados é a etapa que tem o maior potencial para redução do número de equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, C. R. **The instructor, the man and the job; a hand book for instructors of industrial and vocational subjects**. 4th. ed. Philadelphia: J. B. Lippincott company, 1919.
- ALVES, M. K. L.; FERREIRA, O. O. Avaliação da etapa de derrubada e processamento de eucalipto para celulose. **Ciência Florestal**, v. 8, p. 23–34, 1998.
- ARBÓS, L. C. Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance. **International Journal of Production Economics**, v. 80, n. 2, p. 169–183, 2002.
- BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana de açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 367–375, 2013.
- BALCI, O. A methodology for certification of modeling and simulation applications. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, v. 11, n. 4, p. 352–377, 2001.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. L.; NICOL, D. **Discrete-event system simulation**. 4th. ed. Harlow, UK: Pearson, 2004.
- BARTZ, T.; SILUK, J. C. M.; BARTH BARTZ, A. P. Improvement of industrial performance with TPM implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 20, n. 1, p. 2–19, 2014.
- BEZUIDENHOUT, C. N.; SINGELS, A. Operational forecasting of South African sugarcane production: Part 2 – System evaluation. **Agricultural Systems**, v. 92, n. 1, p. 39–51, 2007.
- BOCCA, F. F.; RODRIGUES, L. H. A.; ARRAES, N. A. M. When do I want to know and why? Different demands on sugarcane yield predictions. **Agricultural Systems**, v. 135, p. 48–56, 2015.
- BODDU, S.; MASSINGILL, B.; KIM, S.; MORROW, A.; RANGARAJ, D. Implementation of Process Mapping to Improve a Clinical Workflow: A Study with Our Low Dose Rate Prostate Brachytherapy Program. **Brachytherapy**, v. 15, n. 2016, p. S200–S201, 2016.
- BONACCORSI, A.; CARMIGNANI, G.; ZAMMORI, F. Service Value Stream Management (SVSM): Developing Lean Thinking in the Service Industry. **Journal of Service Science and Management**, v. 4, n. December, p. 428–439, 2011.
- BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 62, p. 62–74, 2002.
- BUAINAIN, A. M.; VIEIRA, P. A. PRODUTIVIDADE NA AGRICULTURA: O FATOR ESQUECIDO. **Revista Plantio Direto**, p. 9, 2009.

CALHEIROS, P.; RODRIGUES, E. Psicologia Organizacional e as Ferramentas Usadas no Enfrentamento do Absenteísmo. **Revista de Psicologia da IMED**, v. 2, n. 2, p. 433–440, 2011.

CHOWDARY, B. V.; GEORGE, D. Improvement of manufacturing operations at a pharmaceutical company: A lean manufacturing approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 1, p. 56–75, 2012.

COLGAN, C.; ADAM, G.; TOPOLANSKY, F. Why try Lean? A Northumbrian Farm case study. **International Journal of Agricultural Management**, v. 2, n. 3, p. 170, 2013.

CONAB. **Evolução da Produtividade e da Produção de Cana de Açúcar no Brasil por Ano-Safra**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>.

Acesso em: 27 maio. 2016.

CREPALDI, L. D.; SILVA, L. A. P.; SILVEIRA, L. .; STEINER, F. Perdas Visíveis de Cana de Açúcar em Função da Velocidade de Deslocamento da Colhedora. (C. 6, Ed.) In: XXI Congresso de Iniciação Científica das FIO, Ourinhos, SP. **Anais...** Ourinhos, SP: 2013.

DAMELIO, R. **The basics of process mapping**. New York, NY: Productivity Press, 1996.

DOBZANŃSKI, L. a; GOŁOMBK, K.; MIKULA, J.; PAKULA, D. Cutting ability improvement of coated tool materials. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 17, n. 1, p. 41–44, 2006.

DRUCKER, P. F. What Executives Should Remember. **Harvard Business Review**, n. February, p. 144–152, 2006.

EVERINGHAM, Y. .; MUCHOW, R. .; STONE, R. .; INMAN-BAMBER, N. .; SINGELS, A.; BEZUIDENHOUT, C. . Enhanced risk management and decision-making capability across the sugarcane industry value chain based on seasonal climate forecasts. **Agricultural Systems**, v. 74, n. 3, p. 459–477, 2002.

FAO. **Global food losses and food waste**Rome, 2011. .

FIORONI, M. M.; SILVA, D. J. da; FRANZESE, L. A. G.; CERQUEIRA JÚNIOR, M. J. B.; ALMEIDA, D. de A. de. Modeling the Sugar Cane Logistics From Farm to Mill. (R. R. Hill, M. E. Kuhl, Eds.) In: Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, 9, Washington, DC, USA. **Anais...** Washington, DC, USA: IEEE Press, 2013.

FORD, H.; CROWTHER, S. **Minha vida e minha obra**. São Paulo, SP: Graphico-Editora Monteiro Lobato, 1925.

FREDO, C. E.; CASER, D. V.; SACHS, R. C.; OLIVETTE, M. P. de A.; FILHO, A. de A. V. Mecanização na Colheita da Cana-de-açúcar. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 10, n. 2, p. 5, 2015.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. 2ª. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GHAFFARIYAN, M. R.; BROWN, M. Selecting the efficient harvesting method using multiple-criteria analysis: A case study in south-west Western Australia. **Journal of Forest Science**, v. 59, n. 12, p. 479–486, 2013.

GIMÉNEZ, J. C.; BERTOMEU, M.; DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. Optimal harvest scheduling in Eucalyptus plantations under a sustainability perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 367–376, 2013.

GONÇALVES, N. G.; LIMA, E. B.; BANCHI, A. D.; PINTO, R. S. A.; LOPES, J. R. Eficiências de uso de máquina agrícola. In: Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Águas de São Pedro, SP. **Anais...** Águas de São Pedro, SP: STAB, 1993.

GRUNOW, M.; GÜNTHER, H.-O.; WESTINNER, R. Supply optimization for the production of raw sugar. **International Journal of Production Economics**, v. 110, n. 1, p. 224–239, 2007.

HANSEN, A. C.; BARNES, A. J.; LYNE, P. W. L. Simulation modeling of sugarcane harvest-to-mill delivery systems. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 3, p. 531–538, 2002.

HASSAN, J.; KHAN, F.; HASAN, M. A risk-based approach to manage non-repairable spare parts inventory. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 3, p. 344–362, 2012.

HIGGINS, A. Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill. **European Journal of Operational Research**, v. 170, n. 3, p. 987–1000, 2006.

HUNTZINGER, J. The Roots of Lean Training Within Industry: The Origin of Kaizen. **Education**, v. 18, n. 1, p. 6–19, 2002.

JENA, S. D.; POGGI, M. Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming. **European Journal of Operational Research**, v. 230, n. 2, p. 374–384, 2013.

KALMAN, H. K. Process Mapping: Tools, Techniques, & Critical Success Factors. **Performance Improvement Quarterly**, v. 15, n. 4, p. 57–73, 2008.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P. **Simulating with arena**. 2nd. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1998.

KUMAR SHARMA, R.; GOPAL SHARMA, R. Integrating six sigma culture and TPM framework to improve manufacturing performance in SMEs. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 30, n. 5, p. 745–765, 2014.

KUMAR, J.; SONI, V. K.; AGNIHOTRI, G. Impact of TPM implementation on Indian manufacturing industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 1, p. 44–56, 2014.

LE GAL, P.-Y.; LYNE, P. W. L.; MEYER, E.; SOLER, L.-G. Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: A South African case study. **Agricultural Systems**, v. 96, n. 1, p. 64–74, 2008.

LEIGH, T. **Lean manufacturing: a competitive edge**. Disponível em: <www.agriculturemorethannever.ca/lean-manufacturing-a-competitive-edge/#.Ueais9LZ-So>. Acesso em: 17 jul. 2013.

LEIGH, T. **Lean manufacturing offers a competitive edge**. Disponível em: <www.fcc-

fac.ca/en/LearningCentre/journal/stories/201205-2_e.asp>. Acesso em: 17 jul. 2013.

LIKER, J. K. **O modelo toyota**. São Paulo, SP: Bookman, 2005.

LIMA, M. M. X. de; BISIO, L. R. de A.; ALVES, T. da C. L. Mapeamento do fluxo de valor do projeto executivo de arquitetura em um órgão público. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 5, n. 1, p. 24–55, jul. 2010.

LIMA, J. S. de S.; LEITE, Â. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 44–65.

LOPEZ MILAN, E.; FERNANDEZ, S. M.; ARAGONES, L. M. P. Sugar cane transportation in Cuba, a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 1, p. 374–386, 2006.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N. da. O Setor Florestal Brasileiro e a Colheita Florestal. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 15–42.

MACKENZIE, G. Livestock. **Farmers Weekly**, v. 673, p. 14–15, 15 jul. 2011.

MAGALHÃES, P. S. G.; BALDO, R. F. G.; CERRI, D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 274–282, 2008.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 161–181.

MALINOVSKI, R. A.; FENRIER, P. T.; SCHACK-KIRCHNER, H.; MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, E. R. A. Otimização da distância de extração de madeira com forwarder. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 36, n. 79, p. 171–179, 2008.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; MAIR, C.; DE, H.; FRANCELINO, O. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento no norte fluminense. **XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014**, p. 4–7, 2014.

MARIA, A. Introduction to modeling and simulation. (S. ANDRADOTTIR, K. J. HEALY, D. H. WITHERS, BARRY L. NELSON, Eds.) In: Proceedings - Winter Simulation Conference, Atlanta, USA. **Anais...** Atlanta, USA: Winter Simulation Conference Board of Directors, 1997.

MCDONALD, B. C.; DUBE, E.; BEZUIDENHOUT, C. N. TranSwarm: A Sugarcane Transport Simulation Model Based on Behavioural Logistics. In: Proceedings of the South African Sugar Technological Association, Durban, SA. **Anais...** Durban, SA: South African Sugar Technologists' Association, 2008.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo, SP: Ceres, Agronômica, 1974.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, 2004.

- MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; DE SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do forwarder em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto (Technical and economic analysis of a forwarder under three eucalyptus forest harvest subsystems). **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 91–97, 2004.
- MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. de; FIEDLER, N. C.; SILVA, E. N. da. Carregamento e descarregamento. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 146–160.
- MONDEN, Y. **Producao sem estoques uma abordagem pratica ao sistema de producao da toyota**. São Paulo, SP: IMAN, 1984.
- NAKAJIMA, S. **La maintenance productive totale (tpm) - mise em oeuvre**. 1ª. ed. Paris: Afnor, 1989.
- NASCIMENTO, A. C.; LEITE, Â. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. de. Avaliação Técnica e Econômica da Colheita Florestal com Feller-Buncher. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 9–15, 2011.
- NELSON, D. **Frederick w. taylor and the rise of scientific management**. Ilustrada ed. Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1980.
- NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; MORAES, E. E.; ARAÚJO, F. V. M. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 787–794, 2006.
- NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; OTA, W. M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 764–770, 2004.
- NEVES, P. de T. **Manutenção produtiva total (total productive maintenance): estudo de caso na colheita mecanizada de cana-de-açúcar (saccharum spp.)**. 2011. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2011.
- NORONHA, R. H. de F.; DA SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; DOS SANTOS, E. P.; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931–938, 2011.
- OHNO, T. **O sistema toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre, RS: Bookman, 1997.
- OHNO, T. **Taiichi ohno's workplace management**. Mukilteo, WA: Gemba Press, 2009.
- OLIVEIRA, D. de; LOPES, E. da S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 37, n. 84, p. 525–533, dez. 2009.
- PACIAROTTI, C.; CIATTEO, V.; GIACCHETTA, G. Value stream mapping implementation in the third sector. **Operations Management Research**, v. 4, n. 3-4, p. 99–110, 2011.
- PATHUMNAKUL, S.; SANMUANG, C.; EUA-ANANT, N. Locating Sugar Cane Loading Stations Under Variations in Cane Supply. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 29, n. 5, p. 1–17, 2012.

RANGEL, J. J. A.; FRANCISCO, L. E. S.; NOGUEIRA, V. P.; VIANNA, D. S.; MEZA, E. B. M. Modelo de simulação para o Sistema de Corte, Carregamento e Transporte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro. **Vertices**, p. 43–54, 2009.

RIPOLI, T. C.; PARANHOS, S. B. Sistemas de Colheita. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana de Açúcar Cultivo e Utilização**. 1. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 856.

ROCHA, E. B. da; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. da S.; GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e Custos de um Sistema de Colheita de Árvores Inteiras. **CERNE**, p. 372–381, 2009.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (saccharum spp) em espaçamento duplo alternado**. 2013. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício: manual de trabalho de uma ferramenta enxuta**. São Paulo, SP: Lean Institute Brasil, 2007.

RYBICKA, J.; TIWARI, A.; ALVAREZ DEL CAMPO, P.; HOWARTH, J. Capturing composites manufacturing waste flows through process mapping. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 251–261, 2015.

SALVI, J. V.; MATOS, M. a.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 201–209, 2007.

SANT’ANNA, C. de M. Corte. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 66–96.

SANTOS, P. H. A. dos; SOUZA, A. P. de; MARZANO, F. L. da C.; MINETTE, L. J. Produtividade e Custos de Extração de Madeira de Eucalipto com Clambunk Skidder. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 511–518, 2013.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. **Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (saccharum spp)**. 2011. Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.

SEGATO, S. V.; DAHER, F. Perdas Visíveis Na Colheita Mecanizada De Cana Crua Sob Duas Velocidades De Deslocamento Da Colhedora. **Nucleus**, v. 8, p. 315–326, 2011.

SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. p. 95–145.

SHETTY, D.; ALI, A.; CHAPDELAINE, J. J. A MODEL FOR THE TOTAL PRODUCTIVE MANUFACTURING ASSESSMENT AND IMPLEMENTATION. v. 8, n. 2, p. 117–136, 2009.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre, RS: Bookman, 1988.

SILVA, E. N. da; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N. C.; FERNANDES, H. C.; PAULA, M. O. de; CARMO, F. C. do; MOREIRA, G. R.; COELHO, F. E. Avaliação de Custos de Dois Modelos de Harvester no Corte de Eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 741–748, 2014.

SILVA, J. E. A. R. da; ALVES, M. R. P. A.; COSTA, M. A. B. da. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 1, p. 73–90, 2011.

SILVA, R. P.; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931–938, 2011.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 107–114, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 38, n. 88, p. 611–618, 2010.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Produtividade e Custos do Feller-Buncher e Processador Florestal em Povoamento de Eucalipto de Primeiro Corte. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 621–630, 2014.

SIMONS, D.; TAYLOR, D. Lean thinking in the UK red meat industry: A systems and contingency approach. **International Journal of Production Economics**, v. 106, n. 1, p. 70–81, 2007.

SIMONS, D.; ZOKAEI, K. Application of lean paradigm in red meat processing. **British Food Journal**, v. 107, n. 4, p. 192–211, 2005.

SINGH, B.; GARG, S. K.; SHARMA, S. K.; GREWAL, C. Lean implementation and its benefits to production industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 2, p. 157–168, 2010.

SINGH, R.; GOHIL, A. M.; SHAH, D. B.; DESAI, S. Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. **Procedia Engineering**, v. 51, n. NUIZONE 2012, p. 592–599, 2013.

SMILES, S. **Self Help; with Illustrations of Character and Conduct** (Boston: Ticknor and Fields, 1863). Disponível em: <<http://oll.libertyfund.org/titles/297>>. Acesso em: 17 maio. 2013.

SOMOGYI BUSINESS AND JOINT VENTURES. **Lean concepts in agriculture and food industry**. April. Disponível em: <www.somogyi-ventures.com/lean-concepts-in-agriculture-and-food-industry>. Acesso em: 17 jul. 2013.

SOUZA, A. P. De; MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. T.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise do desempenho da máquina slingshot em subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 316–320, 2004.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of Toyota Production System. **Harvard Business Review**, v. 77, n. 5, p. 96–106, 1999.

SPEKKEN, M.; DE BRUIN, S. Optimized routing on agricultural fields by minimizing maneuvering and servicing time. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 224–244, 2013.

SPINELLI, R.; HARTSOUGH, B. R.; MAGAGNOTTI, N. Productivity standards for harvesters and processors in Italy. **Forest Products Journal**, v. 60, n. 3, p. 226–235, 2010.

SPINELLI, R.; WARD, S. M.; OWENDE, P. M. A harvest and transport cost model for Eucalyptus spp. fast-growing short rotation plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1265–1270, 2009.

TAYLOR, F. **Os princípios da administração científica**. São Paulo, SP: Atlas, 1970.

TOMAZELA, M.; DANIEL, L.; FERREIRA, J. Administração Limpa e Enxuta em Sistemas Hidráulicos de Colhedoras de Cana-de-Açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 358–366, 2010.

TORQUATO, S. A.; RAMOS, R. C. Protocolo Agroambiental do setor sucroalcooleiro paulista: ações visando à preservação ambiental. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 7, n. 6, p. 1, jun. 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Trajetória tecnológica e aprendizado no setor agropecuário. In: GASQUES, J. G.; FILHO, J. E. R. V.; NAVARRO, Z. (Ed.). **A Agricultura Brasileira : desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2010. p. 298.

VINTER, R. **More with less: planning for food demand spike**. Disponível em: <<http://go.galegroup.com.ez67.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE|A310194498&v=2.1&u=capes58&it=r&p=AONE&sw=w>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

WARREN, J. Case Study : Lean in Primary Production Operations Mt. Sentinel Ranch, Nanton. p. 1–10, 2011a.

WARREN, J. Case Study : Lean in Primary Production Operations Stillridge Ranch, Pincher Creek. p. 1–11, 2011b.

WARREN, J. Case Study : Lean in Primary Production Operations Mountainview Poultry, Okotoks. p. 1–12, 2011c.

WINSTON, W. L.; GOLDBERG, J. B. **Operations research, applications and algorithms**. 4th. ed. [s.l: s.n.]

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas, lean thinking elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D.; TECHNOLOGY, M. I. of. **The machine that changed the world based on the massachusetts institute of technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile**. New York, NY: Rawson Associates, 1990.

ZOKAEI, K.; SIMONS, D. Performance Improvements through Implementation of Lean Practices : A Study of the U . K . Red Meat Industry. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 9, n. 2, p. 30–53, 2006.

ANEXO A. Funções densidade de probabilidade para interrupções na etapa de colheita (primeira parte) – Estudo de caso 1.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Teste de oficina	8,22	46,00	0,12	0.0167 + WEIB(5.25, 0.588)	22,70	125,00	5,22	CONT (0.000, 5.000, 0.750, 29.000, 0.950, 53.000, 0.950, 77.000, 0.950, 101.000, 1.000, 125.000)
Troca de facas	38,00	347,00	0,14	CONT (0.000, 0.000, 0.732, 43.375, 0.901, 86.750, 0.958, 130.125, 0.958, 173.500, 0.958, 216.875, 0.972, 260.250, 0.986, 303.625, 1.000, 347.000)	24,10	37,60	15,60	TRIA(15, 19.3, 38)
Troca de turno				8	10,00	40,10	4,98	4 + LOGN(6.02, 5.15)
Lavagem colhedora	14,30	92,30	0,25	0.25 + WEIB(10.2, 0.606)	18,10	42,00	10,10	10 + LOGN(9.63, 17.3)
Abastecimento/ lubrificação	18,50	143,00	0,30	CONT (0.000, 0.000, 0.583, 14.300, 0.883, 28.600, 0.958, 42.900, 0.967, 57.200, 0.975, 71.500, 0.975, 85.800, 0.975, 100.100, 0.983, 114.400, 0.992, 128.700, 1.000, 143.000)	22,70	267,00	10,30	10 + LOGN(12, 23.1)
Locomoção com prancha	120,00	282,00	28,10	28 + EXPO(92)	44,70	119,00	14,8	14 + WEIB(32.7, 1.22)
Operador mantenedor	150,00	709,00	0,10	0.0833 + WEIB(62.4, 0.384)	21,60	50,50	5,93	CONT (0.000, 5.000, 0.571, 14.200, 0.571, 23.400, 0.857, 32.600, 0.857, 41.800, 1.000, 51.000)
Chuva*	48,10	151,00	1,00	1 + WEIB(15.4, 0.352)	184	3860,00	29,40	CONT (0.000, 29.000, 0.796, 302.857, 0.967, 576.714, 0.976, 850.571, 0.991, 1124.429, 0.991, 1398.286, 0.991, 1672.143, 0.991, 1946.000, 0.995, 2219.857, 0.995, 2493.714, 0.995, 2767.571, 0.995, 3041.429, 0.995, 3315.286, 0.995, 3589.143, 1.000, 3863.000)

Nota *: a função densidade de probabilidade referente à ocorrência de chuva paralisa todo o processo de colheita.

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; TRIA=distribuição triangular; EXPO=distribuição exponencial.

ANEXO B. Funções densidade de probabilidade para interrupções na etapa de colheita (conclusão) – Estudo de caso 1.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Parada por quebra na indústria**	151,00	926,00	0,47	CONT (0.000, 0.250, 0.778, 185.600, 0.833, 370.950, 0.833, 556.300, 0.889, 741.650, 1.000, 927.000)	76,80	286,00	30,10	30 + WEIB(32, 0.605)
Problema mecânico no campo	9,87	487,00	0,25	CONT (0.000, 0.250, 0.941, 37.769, 0.965, 75.288, 0.982, 112.808, 0.982, 150.327, 0.994, 187.846, 0.994, 225.365, 0.994, 262.885, 0.994, 300.404, 0.994, 337.923, 0.994, 375.442, 0.994, 412.962, 0.994, 450.481, 1.000, 488.000)	80,90	865,00	14,90	14 + LOGN(65.5, 161)
Oficina mecânica	326,00	1140,00	0,26	0.25 + EXPO(326)	49,80	102,00	5,58	5 + 98 * BETA(0.362, 0.39)
Encalhado	288,00	2160,00	0,02	CONT (0.000, 0.000, 0.800, 432.000, 0.900, 864.000, 0.900, 1296.001, 0.900, 1728.001, 1.000, 2160.001)	65,30	509,00	0,92	-0.001 + WEIB(23.5, 0.425)
Manutenção preventiva	966,00	1390,00	617,00	616 + EXPO(350)	18,20	29,40	8,13	CONT (0.000, 8.000, 0.333, 12.400, 0.333, 16.800, 0.667, 21.200, 0.667, 25.600, 1.000, 30.000)
Deslocamento lavoura	2,53	17,50	0,25	LOGN(2.45, 3.62)	12,70	60,00	5,00	5 + WEIB(6.8, 0.801)
Manobra	7,63	23,40	0,42	CONT (0.000, 0.000, 0.238, 1.714, 0.443, 3.429, 0.500, 5.143, 0.557, 6.857, 0.614, 8.571, 0.648, 10.286, 0.710, 12.000, 0.776, 13.714, 0.848, 15.429, 0.867, 17.143, 0.910, 18.857, 0.967, 20.571, 0.986, 22.286, 1.000, 24.000)	2,17	9,23	0,28	LOGN(2.18, 1.24)

Nota **: a função densidade de probabilidade referente à parada por quebra na indústria paralisa todo o processo de colheita.

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; TRIA=distribuição triangular; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal.

ANEXO C. Funções densidade de probabilidade para interrupções na etapa de transbordo – Estudo de caso 1.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Troca de turno	8,00	-	-	8	11,60	195,00	5,05	5 + LOGN(6.71, 11.8)
Operador mantenedor	47,60	500,00	0,26	CONT (0.000, 0.250, 0.842, 100.200, 0.947, 200.150, 0.947, 300.100, 0.947, 400.050, 1.000, 500.000)	18,00	44,4	5,00	5 + 40 * BETA(0.46, 0.906)
Abastecimento/lubrificação	38,20	279,00	,25	0.25 + EXPO(37.9)	11,90	38,50	4,98	4 + 35 * BETA(0.642, 2.19)
Teste de oficina	33,20	213,00	0,25	WEIB(24.3, 0.643)	10,60	35,40	6,00	6 + LOGN(6.96, 21.5)
Problema mecânico campo	34,80	255,00	1,00	1 + EXPO(33.8)	36,20	632,00	5,08	15 + WEIB(52.8, 1.08)
Encalhado	71,50	713,00	0,25	WEIB(40.8, 0.543)	18,10	213,00	2,28	2 + EXPO(16.1)
Limpeza máquina/implemento	57,20	456,00	10,10	1 + ERLA(28.1, 2)	10,60	31,60	5,32	5 + EXPO(5.63)
Oficina mecânica	204,00	1660,00	0,31	0.31 + WEIB(9.2, 0.251)	27,70	40,50	15,90	15 + 26 * BETA(0.644, 0.623)
Falta do motorista/operador	648,00	1430,00	87,1	UNIF(1, 1.43e+003)	6,81	76,90	0,05	0.049 + WEIB(1.4, 0.387)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; ERLA=distribuição tde Erlang; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal; UNIF=distribuição uniforme; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO D. Funções densidade de probabilidade para interrupções na etapa de transporte – Estudo de caso 1.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Max	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Fazendo ar - bate pneu - outros	14,30	65,60	0,28	66 * BETA(0.549, 1.76)	6,43	16,00	5,02	5 + LOGN(1.59, 3.7)
Abastecimento/lubrificação	17,10	98,60	0,27	CONT (0.000, 0.000, 0.264, 9.900, 0.764, 19.800, 0.915, 29.700, 0.915, 39.600, 0.934, 49.500, 0.962, 59.400, 0.972, 69.300, 0.991, 79.200, 0.991, 89.100, 1.000, 99.000)	10,00	55,20	5,00	5 + WEIB(4.61, 0.855)
Encalhado	278,00	1730,00	0,11	WEIB(37.4, 0.278)	28,70	75,50	6,18	6 + GAMM(34.3, 0.661)
Aguardando programação	26,30	258,00	0,03	CONT (0.000, 0.000, 0.774, 28.778, 0.828, 57.556, 0.860, 86.333, 0.903, 115.111, 0.946, 143.889, 0.978, 172.667, 0.978, 201.444, 0.989, 230.222, 1.000, 259.000)	51,10	852,00	5,07	5 + WEIB(24.2, 0.567)
Problema mecânico campo	125,00	654,00	0,26	CONT (0.000, 0.000, 0.667, 130.800, 0.867, 261.600, 0.867, 392.400, 0.933, 523.200, 1.000, 654.000)	66,40	173,00	15,90	15 + WEIB(52.8, 1.08)
Oficina mecânica	12,90	272,00	0,278	CONT (0.000, 0.000, 0.869, 19.500, 0.897, 39.000, 0.944, 58.500, 0.944, 78.000, 0.963, 97.500, 0.963, 117.000, 0.963, 136.500, 0.972, 156.000, 0.986, 175.500, 0.991, 195.000, 0.991, 214.500, 0.991, 234.000, 0.995, 253.500, 1.000, 273.000)	126,00	2340,00	20,20	CONT (0.000, 20.000, 0.904, 310.000, 0.945, 600.000, 0.986, 890.000, 0.986, 1180.001, 0.986, 1470.001, 0.986, 1760.001, 0.986, 2050.001, 1.000, 2340.001)
Teste de Oficina	33,20	213,00	0,25	WEIB(24.3, 0.643)	11,10	59,30	2,00	2 + WEIB(6, 0.601)
Aguardando borracharia	43,10	424,00	0,00	CONT (0.000, 0.000, 0.783, 60.714, 0.867, 121.429, 0.917, 182.143, 0.950, 242.857, 0.950, 303.571, 0.983, 364.286, 1.000, 425.000)	40,40	147,00	20,90	20 + EXPO(20.4)
Falta do motorista/operador	149,00	1150,00	0,28	CONT (0.000, 0.000, 0.800, 230.000, 0.900, 460.000, 0.900, 690.000, 0.900, 920.000, 1.000, 1150.000)	50,20	108,00	5,48	CONT (0.000, 5.000, 0.500, 25.800, 0.500, 46.600, 0.500, 67.400, 0.833, 88.200, 1.000, 109.000)
Troca de Turno	8,00	-	-	8	5,57	16,80	1,63	1 + EXPO(4.57)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; ERLA=distribuição de Erlang; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal; UNIF=distribuição uniforme; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO E. Funções densidade de probabilidade para interrupções da colhedora 1 – Estudo de caso 2.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Abastecimento e lubrificação	43,30	286,00	0,02	CONT (0.000, 0.005, 0.732, 47.838, 0.927, 95.670, 0.951, 143.503, 0.951, 191.335, 0.951, 239.168, 0.951, 287.000)	17,90	54,00	1,00	0.999 + 53 * BETA(0.678, 1.44)
Aguardando mecânico	14,90	371,00	0,00	-0.001 + WEIB(4.71, 0.42)	15,10	232,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.799, 20.249, 0.917, 39.499, 0.938, 58.750, 0.951, 78.000, 0.972, 97.250, 0.993, 116.500, 0.993, 135.750, 0.993, 155.000, 0.993, 174.251, 0.993, 193.501, 0.993, 212.751, 0.993, 232.001)
Chuva	20,50	601,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.946, 55.545, 0.959, 110.090, 0.959, 164.636, 0.973, 219.181, 0.986, 273.727, 0.986, 328.272, 0.986, 382.818, 0.986, 437.363, 0.986, 491.909, 0.986, 546.454, 0.986, 601.000)	53,10	1690,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.949, 241.714, 0.966, 482.428, 0.981, 723.143, 0.989, 963.857, 0.996, 1204.572, 0.996, 1445.286, 0.996, 1686.001)
Limpeza-lubrificação	41,70	274,00	0,01	WEIB(22.9, 0.503)	11,80	37,00	1,00	0.999 + EXPO(10.8)
Manutenção elétrica	399,00	745,00	0,22	UNIF(0, 745)	34,50	83,00	8,00	CONT (0.000, 7.999, 0.500, 22.999, 0.500, 38.000, 0.833, 53.000, 0.833, 68.001, 0.833, 83.001)
Manutenção mecânica	21,30	311,00	0,01	WEIB(10.4, 0.493)	57,90	332,00	1,00	0.999 + EXPO(56.9)
Manutenção por oportunidade	16,60	365,00	0,01	WEIB(5.58, 0.421)	47,70	670,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.885, 96.571, 0.947, 192.142, 0.969, 287.714, 0.985, 383.286, 0.992, 478.858, 0.992, 574.429, 0.992, 670.001)
Troca de faquinha	14,70	369,00	0,02	WEIB(7.84, 0.568)	15,80	49,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.210, 3.500, 0.299, 6.500, 0.357, 9.500, 0.427, 12.500, 0.535, 15.500, 0.656, 18.500, 0.707, 21.500, 0.752, 24.500, 0.809, 27.500, 0.847, 30.500, 0.917, 33.500, 0.943, 36.500, 0.955, 39.500, 0.968, 42.500, 1.000, 49.500)
Troca de motorista-operador	8,00	-	-	8	6,48	32,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.567, 5.500, 0.833, 10.500, 0.950, 15.500, 0.967, 20.500, 0.967, 25.500, 0.983, 30.500, 0.983, 32.500)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; UNIF=distribuição uniforme; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO F. Funções densidade de probabilidade para interrupções da colhedora 2 – Estudo de caso 2.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Abastecimento e lubrificação	35,00	167,00	0,00	CONT (0.000, -0.001, 0.698, 27.999, 0.814, 55.999, 0.860, 84.000, 0.907, 112.000, 0.953, 140.000, 0.953, 168.000)	17,50	49,00	1,00	0.999 + 48 * BETA(0.727, 1.39)
Aguardando mecânico	18,90	303,00	0,01	WEIB(6.57, 0.425)	6,62	59,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.789, 7.444, 0.874, 13.888, 0.895, 20.333, 0.916, 26.778, 0.937, 33.222, 0.958, 39.667, 0.958, 46.112, 0.979, 52.556, 0.979, 59.001)
Limpeza-lubrificação	60,50	276,00	0,05	EXPO(60.5)	12,10	50,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.167, 3.500, 0.333, 6.500, 0.556, 9.500, 0.667, 12.500, 0.778, 15.500, 0.778, 18.500, 0.889, 21.500, 0.889, 24.500, 0.889, 27.500, 0.889, 30.500, 0.944, 33.500, 0.944, 36.500, 0.944, 39.500, 0.944, 42.500, 0.944, 50.500)
Manutenção elétrica	399,00	745,00	0,22	UNIF(0, 745)	34,50	83,00	8,00	CONT (0.000, 7.999, 0.500, 22.999, 0.500, 38.000, 0.833, 53.000, 0.833, 68.001, 0.833, 83.001)
Manutenção mecânica	13,50	151,00	0,00	-0.001 + WEIB(7.99, 0.548)	56,20	658,00	1,00	0.999 + ERLA(55.2, 1)
Manutenção por oportunidade	20,30	178,00	0,01	WEIB(4.36, 0.35)	39,40	509,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.855, 64.499, 0.957, 127.999, 0.957, 191.500, 0.986, 255.000, 0.986, 318.500, 0.986, 382.000, 0.986, 445.501, 0.986, 509.001)
Troca de faquinha	11,60	144,00	0,02	WEIB(7.69, 0.624)	19,10	69,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.321, 8.500, 0.452, 16.500, 0.649, 24.500, 0.851, 32.500, 0.923, 40.500, 0.958, 48.500, 0.976, 56.500, 0.988, 64.500, 0.988, 69.500)
Troca de motorista/operador	8,00	-	-	8	6,48	32,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.567, 5.500, 0.833, 10.500, 0.950, 15.500, 0.967, 20.500, 0.967, 25.500, 0.983, 30.500, 0.983, 32.500)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; ERLA=distribuição de Erlang; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; UNIF=distribuição uniforme; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO G. Funções densidade de probabilidade para interrupções da colhedora 3 – Estudo de caso 2.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Abastecimento e lubrificação	37.70	334.00	0.02	CONT (0.000, 0.000, 0.867, 55.667, 0.956, 111.333, 0.978, 167.000, 0.978, 222.667, 0.978, 278.333, 0.978, 334.000)	11.80	35.00	1.00	0.999 + 34 * BETA(0.462, 0.987)
Aguardando mecânico	33.40	157.00	0.00	-0.001 + WEIB(12.1, 0.371)	13.80	80.00	1.00	0.999 + WEIB(4.05, 0.327)
Limitação da industria	14.10	141.00	1.01	CONT (0.000, 1.000, 0.821, 21.143, 0.896, 41.286, 0.925, 61.429, 0.925, 81.571, 0.970, 101.714, 0.985, 121.857, 0.985, 142.000)	25.60	387.00	1.00	CONT (0.000, 0.999, 0.884, 56.142, 0.956, 111.285, 0.975, 166.428, 0.988, 221.572, 0.994, 276.715, 0.997, 331.858, 0.997, 387.001)
Limpeza-lubrificação	25.40	135.00	0.03	LOGN(52.1, 349)	8.59	41.00	1.00	CONT (0.000, 0.999, 0.609, 7.666, 0.870, 14.333, 0.870, 21.000, 0.913, 27.667, 0.957, 34.334, 0.957, 41.001)
Manutenção elétrica	399.00	745.00	0.22	UNIF(0, 745)	34.50	83.00	8.00	CONT (0.000, 7.999, 0.500, 22.999, 0.500, 38.000, 0.833, 53.000, 0.833, 68.001, 0.833, 83.001)
Manutenção mecânica	30.30	188.00	0.01	WEIB(14.5, 0.454)	38.60	141.00	1.00	0.999 + EXPO(37.6)
Manutenção por oportunidade	26.50	173.00	0.01	WEIB(12.8, 0.459)	46.60	318.00	1.00	CONT (0.000, 0.999, 0.702, 46.285, 0.860, 91.571, 0.912, 136.857, 0.947, 182.143, 0.947, 227.429, 0.965, 272.715, 0.965, 318.001)
Troca de faquinha	11.30	181.00	0.02	LOGN(11.1, 40.8)				CONT (0.000, 0.999, 0.629, 23.916, 0.970, 46.833, 0.982, 69.749, 0.994, 92.666, 0.994, 115.583, 0.994, 138.500, 0.994, 161.417, 0.994, 184.334, 0.994, 207.250, 0.994, 230.167, 0.994, 253.084, 0.994, 276.001)
Troca de Motorista/Operador	8.00	-	-	8	6.48	32.00	1.00	CONT (0.000, 0.500, 0.567, 5.500, 0.833, 10.500, 0.950, 15.500, 0.967, 20.500, 0.967, 25.500, 0.983, 30.500, 0.983, 32.500)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal; UNIF=distribuição uniforme; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO H. Funções densidade de probabilidade para interrupções da etapa de transbordo – Estudo de caso 2.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Abastecimento e lubrificação	62,30	364,00	0,03	CONT (0.000, 0.000, 0.542, 40.444, 0.844, 80.889, 0.896, 121.333, 0.896, 161.778, 0.896, 202.222, 0.938, 242.667, 0.958, 283.111, 0.969, 323.556, 1.000, 364.000)	11,20	76,00	1,00	CONT (0.000, 0.500, 0.389, 6.500, 0.814, 12.500, 0.929, 18.500, 0.929, 24.500, 0.929, 30.500, 0.929, 36.500, 0.938, 42.500, 0.956, 48.500, 0.965, 54.500, 0.973, 60.500, 0.982, 66.500, 0.991, 72.500, 1.000, 76.500)
Encalhado	272,00	863,00	0,08	GAMM(993, 0.274)	42,10	192,00	1,00	0.999 + EXPO(41.1)
Falta de motorista operador	80,00	335,00	0,08	WEIB(54, 0.568)	214,00	726,00	1,00	0.999 + 725 * BETA(0.457, 1.1)
Motivo indeterminado	62,00	475,00	0,08	WEIB(24.9, 0.434)	20,60	875,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.988, 98.110, 0.988, 195.222, 0.988, 292.333, 0.988, 389.444, 0.988, 486.556, 0.988, 583.667, 0.988, 680.778, 0.988, 777.890, 1.000, 875.001)
Limpeza lavagem	181,00	880,00	0,20	WEIB(158, 0.78)	14,40	50,00	3,00	2.5 + GAMM(8.16, 1.45)
Manutenção borracheiro	121,00	408,00	0,08	EXPO(121)	142,00	688,00	3,00	3 + WEIB(105, 0.605)
Manutenção mecânica	28,00	377,00	0,05	WEIB(17.7, 0.579)	60,10	6280,00	1,00	CONT (0.000, 0.999, 0.979, 483.845, 0.991, 966.692, 0.997, 1449.538, 0.997, 1932.384, 0.997, 2415.231, 0.997, 2898.077, 0.997, 3380.923, 0.997, 3863.769, 0.997, 4346.616, 0.997, 4829.462, 0.997, 5312.308, 0.997, 5795.155, 0.997, 6278.001)
Manutenção no transbordo	72,90	432,00	0,11	WEIB(50, 0.588)	40,60	357,00	1,00	0.999 + WEIB(30.3, 0.666)
Refeição café	89,50	434,00	0,05	LOGN(179, 1.07e+003)	11.30	60.00	0.25	EXPO(11.3)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal; UNIF=distribuição uniforme; GAMM= distribuição gama; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO I. Funções densidade de probabilidade para interrupções da etapa de transporte – Estudo de caso 2.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)				Duração (min)			
	Média	Máx	Min	Distribuição	Média	Máx	Min	Distribuição
Borracharia	164.00	1060.00	9.61	9 + LOGN(185, 435)	160.00	717.00	2.02	2 + WEIB(160, 1.04)
Encachado	711.00	1700.00	163.00	163 + WEIB(375, 0.454)	454.00	875.00	224.00	223 + 653 * BETA(0.279, 0.354)
Falta de motorista operador	121.00	425.00	3.78	3 + GAMM(204, 0.578)	1680.00	5880.00	32.20	32 + EXPO(1.64e+003)
Manutenção elétrica	363.00	1830.00	0.05	WEIB(283, 0.678)	335.00	1290.00	2.97	2 + WEIB(315, 0.891)
Manutenção mecânica	192.00	1430.00	0.00	WEIB(137, 0.615)	461.00	4950.00	3.43	3 + LOGN(537, 1.04e+003)
Operacional	499.00	1530.00	0.34	EXPO(499)	321.00	828.00	11.40	TRIA(11, 124, 829)
Troca de turno caminhão	8.00	-	-	8	8.00	-	-	(1 + EXPO(4.57))*1.2
Oficina mecânica	12,90	272,00	0,278	CONT (0.000, 0.000, 0.869, 19.500, 0.897, 39.000, 0.944, 58.500, 0.944, 78.000, 0.963, 97.500, 0.963, 117.000, 0.963, 136.500, 0.972, 156.000, 0.986, 175.500, 0.991, 195.000, 0.991, 214.500, 0.991, 234.000, 0.995, 253.500, 1.000, 273.000)	126,00	2340,00	20,20	CONT (0.000, 20.000, 0.904, 310.000, 0.945, 600.000, 0.986, 890.000, 0.986, 1180.001, 0.986, 1470.001, 0.986, 1760.001, 0.986, 2050.001, 1.000, 2340.001)

Nota: WEIB=distribuição de Weibull; CONT=distribuição contínua ou discreta; EXPO=distribuição exponencial; BETA: distribuição beta; LOGN: distribuição lognormal; GAMM= distribuição gama; Máx=valor máximo; Min=valor mínimo.

ANEXO J. Funções densidade de probabilidade para interrupções das garras carregadoras e descarregadoras– Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Abastecimento	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (0.22 + \text{ERLA}(0.619, 2))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(30 + \text{EXPO}(57.5)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Aguardando descarga	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (\text{UNIF}(1.33, 2.28))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(80, 137) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Lavagem do equipamento	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (0.75)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$45 / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Recurso em transporte	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (0.83)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$49.8 / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Falta de peças	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (20 + 184 * \text{BETA}(0.348, 0.304))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(1.23\text{e}+003, 1.22\text{e}+004) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva mecânico	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (\text{TRIA}(5, 7.76, 22))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(340 + \text{EXPO}(355)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva operador	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (1.166667)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$70.0 / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção preventiva operador	$((\text{CONT}(0.000, 524.999, 0.500, 529.199, 0.500, 533.400, 0.500, 537.600, 0.500, 541.801, 1.000, 546.001)) - (\text{UNIF}(7.3, 12))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(464, 720) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$

Nota: CONT= distribuição contínua ou discreta; TRIA= distribuição triangular; UNIF= distribuição uniforme; EXPO: distribuição exponencial; ERLA= distribuição de Erlang.

ANEXO K. Funções densidade de probabilidade para interrupções dos *feller-bunchers* – Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Abastecimento	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (16 + 5.57 * \text{BETA}(0.761, 0.805))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(975, 1.27e+003) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Aguardando descarga	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (\text{UNIF}(-0.001, 1.38))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(-0.001, 75) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Aguardando recurso	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (0.999 + 3.94 * \text{BETA}(0.253, 0.434))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(60 + 215 * \text{BETA}(0.141, 0.163)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Auxílio outro equipamento	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (\text{DISC}(0.000, -0.001, 0.500, 1.199, 0.500, 2.399, 0.750, 3.600, 0.750, 4.800, 1.000, 6.000))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{CONT}(0.000, -0.001, 0.500, 67.999, 0.500, 136.000, 0.750, 204.000, 0.750, 272.001, 1.000, 340.001) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Recurso em transporte	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (3.13 + \text{LOGN}(1.96, 2.29))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(220 + \text{WEIB}(28.4, 0.311)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Transporte de operador	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (2 + \text{LOGN}(3.86, 5.45))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(155 + \text{EXPO}(185)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Treinamento reunião	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (12 * \text{BETA}(0.724, 0.781))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{CONT}(0.000, 54.999, 0.500, 179.999, 0.500, 305.000, 0.500, 430.000, 0.750, 555.001, 1.000, 680.001) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Falta de peças	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (37 + 221 * \text{BETA}(0.301, 0.284))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(2.24e+003, 1.54e+004) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva mecânico	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (94 + 65 * \text{BETA}(0.337, 0.388))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(5.66e+003 + 3.84e+003 * \text{BETA}(0.0172, 0.0195)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva operador	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (55 + 11 * \text{BETA}(0.578, 0.608))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(3.34e+003, 3.95e+003) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção preventiva mecânico	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (-0.001 + \text{EXPO}(3.92))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(235)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção preventiva operador	$((1.07e+003 + 48 * \text{BETA}(0.305, 0.386)) - (78 + 45 * \text{BETA}(0.363, 0.392))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$\text{UNIF}(4.7e+003, 7.36e+003) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$

Nota: CONT= distribuição contínua ou discreta; TRIA= distribuição triangular; UNIF= distribuição uniforme; EXPO: distribuição exponencial; WEIB= distribuição de Weibul; BETA= distribuição beta.

ANEXO L. Funções densidade de probabilidade para interrupções dos *forwarders* – Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Abastecimento	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (8 + \text{EXPO}(1.15))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(480 + \text{EXPO}(68.8)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Aguardando descarga	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{TRIA}(0, 2.38, 16))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{TRIA}(0, 183, 920)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Aguardando frentista comboio	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.0534, 0.256))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(-0.001 + \text{WEIB}(0.393, 0.17)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Aguardando recurso	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{UNIF}(0.00, 37))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(0.00, 2.17\text{e}+003)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Auxílio outro equipamento	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (3 + 10 * \text{BETA}(0.692, 0.526))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(210, 765)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Improdutiva de apoio	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.0558, 0.253))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(110)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Lavagem do equipamento	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (-0.001 + \text{EXPO}(1.83))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(110)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Recurso em transporte	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (1 + 14 * \text{BETA}(0.379, 0.43))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(100 + \text{EXPO}(258)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Transporte de operador	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{UNIF}(0.001, 13))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(0.001, 765)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Treinamento reunião	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (3 + 14 * \text{BETA}(0.444, 0.48))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(210 + 780 * \text{BETA}(0.131, 0.159)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Falta de peças	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{UNIF}(26, 156))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(1.6\text{e}+003, 9.35\text{e}+003)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Manutenção corretiva mecânico	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{TRIA}(108, 126, 127))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{TRIA}(6.53\text{e}+003, 7.51\text{e}+003, 7.62\text{e}+003)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Manutenção corretiva operador	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (40 + \text{WEIB}(2.09, 0.439))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(2.4\text{e}+003 + \text{WEIB}(92.1, 0.312)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Manutenção de Implemento	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (-0.001 + \text{EXPO}(155))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(155)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Manutenção de pneus	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{UNIF}(0.00, 10))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(0.00, 550)) / \text{TRIA}(4,10,20)$
Manutenção preventiva operador	$(\text{TRIA}(1.05\text{e}+003, 1.07\text{e}+003, 1.12\text{e}+003) - (\text{UNIF}(78, 94))) / \text{TRIA}(4,10,20)$	$(\text{UNIF}(4.71\text{e}+003, 5.63\text{e}+003)) / \text{TRIA}(4,10,20)$

Nota: TRIA= distribuição triangular; UNIF= distribuição uniforme; EXPO: distribuição exponencial; WEIB= distribuição de Weibul; BETA= distribuição beta.

ANEXO M. Funções densidade de probabilidade para interrupções das garras traçadoras – Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Abastecimento	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(8, 25)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(505, 1.47e+003))/TRIA(4,10,20)$
Aguardando frentista comboio	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(-0.001 + EXPO(1.44)))/TRIA(4,10,20)$	$(-0.001 + EXPO(86.3))/TRIA(4,10,20)$
Aguardando recurso	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(-0.001 + EXPO(6.65)))/TRIA(4,10,20)$	$(-0.001 + EXPO(399))/TRIA(4,10,20)$
Auxílio outro equipamento	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(-0.001 + WEIB(0.0495, 0.261)))/TRIA(4,10,20)$	$(-0.001 + WEIB(0.365, 0.173))/TRIA(4,10,20)$
Lavagem do Equipamento	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(-0.001 + WEIB(0.0495, 0.261)))/TRIA(4,10,20)$	$(-0.001 + WEIB(0.365, 0.173))/TRIA(4,10,20)$
Recurso em transporte	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(9, 21)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(550, 1.25e+003))/TRIA(4,10,20)$
Transporte de operador	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(-0.001 + WEIB(0.0223, 0.328)))/TRIA(4,10,20)$	$(-0.001 + WEIB(0.164, 0.2))/TRIA(4,10,20)$
Treinamento reunião	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(TRIA(2, 10, 11)))/TRIA(4,10,20)$	$(TRIA(165, 590, 625))/TRIA(4,10,20)$
Falta de peças	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(13, 242)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(835, 1.45e+004))/TRIA(4,10,20)$
Manutenção corretiva mecânico	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(88, 120)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(5.33e+003, 7.2e+003))/TRIA(4,10,20)$
Manutenção corretiva operador	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(17, 37)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(1.06e+003, 2.2e+003))/TRIA(4,10,20)$
Manutenção de cabeçote	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(6, 10)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(372, 600))/TRIA(4,10,20)$
Manutenção preventiva mecânico	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(UNIF(7, 16)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(420, 945))/TRIA(4,10,20)$
Manutenção preventiva operador	$(UNIF(1.04e+003, 1.1e+003)-(68 + 30 * BETA(0.0444, 0.0314)))/TRIA(4,10,20)$	$(UNIF(4.09e+003, 5.88e+003))/TRIA(4,10,20)$

Nota: TRIA= distribuição triangular; UNIF= distribuição uniforme; EXPO: distribuição exponencial; WEIB= distribuição de Weibul; BETA= distribuição beta.

ANEXO N. Funções densidade de probabilidade para interrupções dos caminhões A30 – Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Abastecimento	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (0.19 + 3.71 * \text{BETA}(1.09, 0.925))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(\text{TRIA}(30, 168, 215)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Aguardando carga	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (\text{UNIF}(1'6, 63))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(\text{UNIF}(1.01e+003, 3.77e+003)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Aguardando descarga	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (\text{TRIA}(119, 129, 196))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(\text{TRIA}(7.17e+003, 7.77e+003, 1.17e+004)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Auxílio outro equipamento	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.0522, 0.257))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{WEIB}(0.384, 0.171)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Lavagem do equipamento	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.311, 0.312))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(65)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Treinamento reunião	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{EXPO}(1.09))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(65.5)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Falta de peças	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (412 + 134 * \text{BETA}(0.294, 0.162))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(\text{CONT}(0.000, 24759.999, 0.250, 26359.999, 0.250, 27960.000, 0.250, 29560.000, 0.250, 31160.001, 1.000, 32760.001)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva mecânico	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (20 + 21 * \text{BETA}(0.373, 0.59))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(1.24e+003 + \text{WEIB}(83.8, 0.287)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção corretiva operador	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{GAMM}(1.77, 0.399))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{EXPO}(42.3)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção de pneus	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.0372, 0.281))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{WEIB}(0.274, 0.181)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção preventiva mecânico	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (-0.001 + \text{WEIB}(0.0519, 0.258))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(-0.001 + \text{WEIB}(0.382, 0.171)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$
Manutenção preventiva operador	$((1.05e+003 + \text{GAMM}(160, 0.463)) - (10.7 + 3.05 * \text{BETA}(0.322, 0.422))) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$	$(658 + \text{WEIB}(31.4, 0.344)) / \text{TRIA}(4, 10, 20)$

Nota: TRIA= distribuição triangular; UNIF= distribuição uniforme; EXPO: distribuição exponencial; WEIB= distribuição de Weibul; BETA= distribuição beta; GAMM= distribuição gama; CONT= distribuição contínua ou discreta.

ANEXO O. Funções densidade de probabilidade para interrupções dos caminhões terceirizados – Estudo de caso 3.

Tipo de Interrupção	Intervalo (h)	Duração (min)
Fazendo ar, bate pneu, outros	66 * BETA(0.549, 1.76)	5 + LOGN(1.59, 3.7)
Abastecimento lubrificação	CONT (0.000, 0.000, 0.264, 9.900, 0.764, 19.800, 0.915, 29.700, 0.915, 39.600, 0.934, 49.500, 0.962, 59.400, 0.972, 69.300, 0.991, 79.200, 0.991, 89.100, 1.000, 99.000)	5 + WEIB(4.61, 0.855)
Encalhado	WEIB(37.4, 0.278)	6 + GAMM(34.3, 0.661)
Aguardando programação	CONT (0.000, 0.000, 0.774, 28.778, 0.828, 57.556, 0.860, 86.333, 0.903, 115.111, 0.946, 143.889, 0.978, 172.667, 0.978, 201.444, 0.989, 230.222, 1.000, 259.000)	5 + WEIB(24.2, 0.567)
Problema mecânico campo	CONT (0.000, 0.000, 0.667, 130.800, 0.867, 261.600, 0.867, 392.400, 0.933, 523.200, 1.000, 654.000)	15 + WEIB(52.8, 1.08)
Oficina mecânica	CONT (0.000, 0.000, 0.869, 19.500, 0.897, 39.000, 0.944, 58.500, 0.944, 78.000, 0.963, 97.500, 0.963, 117.000, 0.963, 136.500, 0.972, 156.000, 0.986, 175.500, 0.991, 195.000, 0.991, 214.500, 0.991, 234.000, 0.995, 253.500, 1.000, 273.000)	CONT (0.000, 20.000, 0.904, 310.000, 0.945, 600.000, 0.986, 890.000, 0.986, 1180.001, 0.986, 1470.001, 0.986, 1760.001, 0.986, 2050.001, 1.000, 2340.001)
Teste de oficina	WEIB(24.3, 0.643)	2 + WEIB(6, 0.601)
Aguardando borracharia	CONT (0.000, 0.000, 0.783, 60.714, 0.867, 121.429, 0.917, 182.143, 0.950, 242.857, 0.950, 303.571, 0.983, 364.286, 1.000, 425.000)	20 + EXPO(20.4)
Falta do motorista operador	CONT (0.000, 0.000, 0.800, 230.000, 0.900, 460.000, 0.900, 690.000, 0.900, 920.000, 1.000, 1150.000)	CONT (0.000, 5.000, 0.500, 25.800, 0.500, 46.600, 0.500, 67.400, 0.833, 88.200, 1.000, 109.000)

Nota: EXPO: distribuição exponencial; WEIB= distribuição de Weibul; BETA= distribuição beta; GAMM= distribuição gama; CONT= distribuição contínua ou discreta.